

UNIVERSIDAD PANAMERICANA
Facultad de Ciencias de la Educación
Doctorado en Ciencias de la Educación



TESIS DOCTORAL

Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física:
Una Propuesta Integradora

Autor: Antonio Jesús León Burguera

Director:
Dr. Olmedo España Calderón

Guatemala 2010

Autoridades de la Universidad Panamericana

RECTOR MAGNÍFICO
Ing.M.A. Abel Antonio Girón Arévalo

VICERRECTORA ACADÉMICA Y SECRETARIA GENERAL
MSc. Alba Aracely Rodríguez de González

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Lic. Mynor Augusto Herrera Lemus

DIRECTORA DE REGISTRO Y CONTROL ACADEMICO
Arq. Vicky Beatriz Sicajol Calderón

DECANO FACULTAD DE EDUCACIÓN:
MA. José Ramiro Bolaños Rivera

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Olmedo España Calderón

REVISOR DE TESIS:
Dra. Beatriz Villarreal Montoya

TRIBUNAL EVALUADOR:
Dra. Beatriz Villarreal Montoya
Dr. Leonel Morales Aldana
Dr. Bienvenido Argueta Hernández



UNIVERSIDAD
PANAMERICANA

"Subsidaria ante todo, adquiere subsidaria"

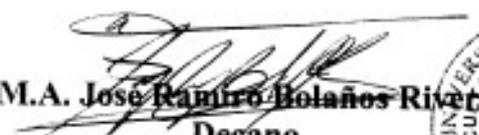
**DICTAMEN
APROBACION PARA ELABORAR
DISERTACION DOCTORAL**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

ASUNTO: Licenciado Antonio Jesús León Burguera
Estudiante del Doctorado en Educación,
de esta Facultad, solicita autorización para
realizar Disertación Doctoral para completar
requisitos de graduación.

Después de haber estudiado el anteproyecto presentado a esta Decanatura para cumplir requisitos de aprobación para elaborar Disertación Doctoral que es requerido para obtener el título de Doctor en Educación, se resuelve:

1. El anteproyecto presentado con el nombre de: **"Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: Una Propuesta Integradora"**, está enmarcado dentro de los conceptos requeridos para una Disertación Doctoral.
2. La temática enfoca temas sujetos al campo de investigación con el marco científico requerido.
3. Habiendo cumplido con lo descrito en el reglamento académico de la Universidad Panamericana en opciones de Egreso, artículo No06 incisos del a) al n).
4. Por lo antes expuesto, el estudiante **León Burguera**, recibe la aprobación de realizar Disertación Doctoral, solicitado como opción de Egreso.
5. Se autoriza el nombramiento del Doctor Olmedo España Calderón como Asesor-Tutor, de conformidad con lo establecido en la normativa para el desarrollo de trabajos de graduación.


M.A. José Ramón Bolaños Rivera
Decano
Facultad de Ciencias de la Educación





UNIVERSIDAD
PANAMERICANA
"Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría"

**DICTAMEN DE
DISERTACIÓN DOCTORAL**

Guatemala, 22 de enero de 2010

Nombre del Estudiante: Antonio Jesús León Burguera

Temática: "Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: Una Propuesta Integradora"

El asesor del trabajo de postgrado,

Considerando:

Primero: Que ha tenido a la vista el documento de rigor, donde consta que el estudiante aludido realizó todos los pasos requeridos para la elaboración de disertación doctoral, atendiendo a un método y técnicas requeridas.

Segundo: Que dicho trabajo reúne las calidades básicas de una disertación doctoral.

Por tanto,

En su calidad de Asesor, emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites correspondientes.

Dr. Olmedo España Calderón
Asesor

Guatemala, 22 de febrero de 2010.

M. A. José Ramiro Bolaños.

Decano Facultad de Educación.
Universidad Panamericana.

Estimado señor Decano:

Una vez leída, revisada la tesis y posteriormente discutida y corregida con el estudiante autor de esta investigación doctoral, a lo largo de casi un mes de trabajo, dada la complejidad y extensión del tema: *Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: una propuesta integradora* del señor Antonio Jesús León Burguesa, doy por aprobado dicho documento, para que siga el curso que le corresponde para la Disertación Doctoral.

Atentamente.



Beatriz Villarreal M. P. h. D.

Dictamen del Tribunal Evaluador de la Defensa Doctoral

El Tribunal Evaluador de la defensa Doctoral del estudiante

Antonio Jesús León Burguera

con la Tesis

Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: Una Propuesta Integradora

CONSIDERANDO:

Primero: Que ha estudiado el informe de Tesis, donde consta que el estudiante en cuestión realizó una investigación de rigor, atendiendo a métodos y técnicas propias de su campo.

Segundo: Que dicho estudiante ha realizado todas las correcciones que les fueron planteadas.

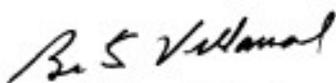
Tercero: Que en la defensa pública de dicha Tesis el estudiante contestó satisfactoriamente las preguntas del Tribunal y el Público.

POR TANTO:

Los abajo firmantes, en su calidad de Tribunal Evaluador de la Defensa Doctoral, emiten **Dictamen Favorable**, otorgándole calificación de noventa y cinco puntos sobre cien (95/100) para que se surta efecto en cualquier trámite posterior.

Auditorium de la Universidad Panamericana
Guatemala, 18 de Marzo de 2010.

“Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría”



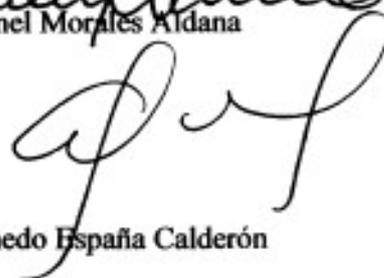
Dra. Beatriz Villarreal Montoya



Dr. Leonel Morales Aldana



Dr. Bienvenido Argueta Hernández



Dr. Olmedo España Calderón

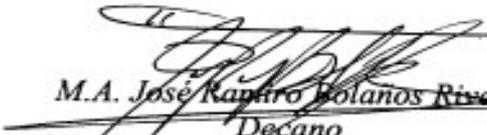


UNIVERSIDAD PANAMERICANA

"Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría"

UNIVERSIDAD PANAMERICANA, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION. Guatemala a los siete días del mes de mayo del año dos mil diez.-----

En virtud que la *Disertación Doctoral* con la temática: **Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: Una Propuesta Integradora**, presentado por el estudiante *Antonio Jesús León Burguera*, previo a optar al *Grado Académico Doctor en Educación*, cumple con los requisitos técnicos y de contenido establecidos por la Universidad, y con el requisito de *Dictamen del Asesor (a) y del Revisor (a)*, se autoriza la impresión de la *Disertación Doctoral* correspondiente.


M.A. José Rappiro Bolaños Rivera
Decano
Facultad de Ciencias de la Educación



**Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física:
Una Propuesta Integradora**

Antonio Jesús León Burguera

Director:
Dr. Olmedo España Calderón

Cita sugerida para la presente Tesis Doctoral:

León Burguera, A. J. (2010): *Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física: Una Propuesta Integradora*. Tesis Doctoral. ISBN: 978-9929-40-033-7. Ciudad Guatemala, Guatemala.

Agradecimientos:

Al Dr. Olmedo España y la Dra. Beatriz Villareal por una guía exigente pero exenta de restricciones formales, llena de sapiencia en teoría y práctica educativa.

Al Dr. Armando de la Torre, ese joven sabio cuyos consejos permitieron delinear algunos de los tópicos epistemológicos, tolerando con indulgencia algunas discrepancias con los puntos de vista del autor.

Al Dr. Antonio Guillot, filósofo, matemático, erudito y eterno crítico, cuya amistosa rivalidad permitió esclarecer muchos puntos de vista.

Al Dr. Eduardo Suger y en su nombre a la administración de la Universidad Galileo por su confianza y apoyo en todo el proyecto experimental.

A los colegas y alumnos cuyas sugerencias y apoyo son el verdadero sustento de este trabajo.

A mi familia que ha llevado con estoicismo la peor de las restricciones: el no poder gritar.

A todos, muchas gracias por su benevolencia.

Dedicatoria:

A José Antonio:
Por toda una vida ofrecida a su familia;
de toda su familia, agradecida de por vida.

DECLARACIÓN

Yo, solemnemente declaro que la siguiente Tesis Doctoral ha sido llevada a cabo por mí y es esencialmente fruto de mi propio trabajo de investigación personal. Cuando se han mostrado textos, imágenes o ideas de otros autores, se han señalado las fuentes y autorías citándolas conforme a lo establecido. Las traducciones de todas las citas y referencias en idiomas extranjeros, han sido realizadas por mí a título personal, interpretando el sentir de los autores y nunca de forma literal. Todas las declaraciones se hacen a título personal y no necesariamente reflejan las opiniones de los asesores o de esta Alta Casa de Estudios. Las imprecisiones, omisiones y errores que pudieran haberse cometido son de mi absoluta responsabilidad.

El Autor.

ÍNDICE

Dedicatoria.	5
DECLARACIÓN	6
Índice	7

Resumen	11
Abstract	15

PARTE I INTRODUCCIÓN

Capítulo 1. Introducción a la Investigación.	18
1.1 A modo de aclaración	18
1.2 El contexto. Ciencia, Tecnología, Sociedad y Educación.	20
1.2.1 Al principio y al final, siempre el Maestro.	20
1.2.2 Experiencia, experimento, experimentación.	23
1.2.3 Epistemología, Experimentación y Enseñanza	25
1.2.4 Nuestra meta: ser renacentistas.	27
1.2.5 En defensa de la Ciencia: Paradigmas para la Educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad	31
1.2.6 Ciencia, tecnología, sociedad... y política.	33
1.2.7 ¿Dónde Estamos? Entre temores y esperanzas.	35
1.2.8 <i>Facta, non verba</i> : Tema de reflexión, propuesta para la acción.	41
1.3 El Problema	43
1.4 Objetivos	44
Objetivos generales	
Objetivos específicos	
1.5 Hipótesis	44
Capítulo 2. Metodología y fuentes.	46
2.1 Los aspectos metodológicos	46
2.2 Las fuentes de información	47
2.2.1 Las fuentes de información primaria.	47
2.2.2 Las fuentes de información secundaria.	48
2.2.3 Las fuentes de información terciaria.	48

PARTE II MARCO TEÓRICO

Capítulo 3. Fundamentos Epistemológicos de la Ciencia y su Enseñanza	49
3. La Ciencia	49
3.1 ¿Cómo enseñar ciencia si los científicos aún no saben qué cosa es?	49
3.2 Teoría y práctica	50
3.3 Epistemología, Naturaleza de la Ciencia y Enseñanza de las Ciencias Naturales	52
3.4 Algunos Principios Epistemológicos de la Física	60
Principio Ontológico	60

Principio Gnoseológico	60
Principio de Especificidad	61
Principio de Causalidad	63
Principio Lingüístico	79
Principio de la no Unicidad del Método	84
Principio de Mutabilidad	96
Principio de Consistencia	99
Principio de Humanidad	100
3.5 Una epistemología del experimento	115
3.6 Reflexiones metodológicas	115
Capítulo 4. Enseñanza significativa de la ciencia y experimentación.	118
4.1 El papel del currículo en ciencias. Entre críticas, tanteos y propuestas.	119
4.1.1 Medio siglo en el currículo en ciencias. De la sociedad postindustrial a la sociedad del conocimiento.	132
4.1.2 ¿Qué debe contemplar el currículo de ciencias?	136
4.2 La enseñanza significativa y la didáctica experimental.	150
4.2.1 ¿Qué puede y qué debe propiciar una buena educación científica experimental?	152
4.2.2 ¿Está totalmente justificado lo experimental desde el punto de vista didáctico?	156
4.2.3 Modelos educativos constructivistas y experimentación.	160
4.2.4 Modelos didáctico-epistémicos para la comprensión de la experimentación significativa.	168
4.3 ¿Experimentación real o experimentación virtual?	175
4.4 Distintas formas de experimentación en la escuela.	186
4.5 El currículo en ciencias y su entorno social	191

PARTE III PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Capítulo 5. Un modelo viable para la experimentación en la enseñanza de la Física	199
5.1 Vamos a experimentar, ¿pero... qué, para qué, para quiénes, dónde, cuándo, y sobre todo... cómo?	203
5.2 Nuevas tecnologías y experimentación.	216
5.2.1 Experimentar la experimentación. El equilibrio.	216
5.2.2 De las potencialidades a los cantos de sirena.	219
5.2.3 Tecnología educativa: necesaria, mas no suficiente.	226
5.2.4 Hombre vs TIC. La diferencia que radica en el sustrato.	232
5.2.5 Nuevos tiempos, nueva gente.	234
5.3 La nueva tecnología para la experimentación. Los Laboratorios basados en microcomputadoras.	238

5.4 El laboratorio. Aprendiendo Física con Ciencia, Tecnología e Ingenio	244
5.5 Superando tendencias Monistas.	258
5.6 Más allá de las quimeras teóricas.	263
5.7 ¿Necesita una selección de experimentos <i>ejemplares</i> ?	266
5.8 El proyecto experimental integrador.	274
5.8.1 Caracterización del aprendizaje basado en proyectos. Ventajas y desventajas.	275
5.8.2 Currículo discreto vs currículo integrado. ¿Cómo superar las barreras de las disciplinas?	279
5.8.3 Proyectos integradores: Un modelo viable.	284
5.8.4 Proyecto Científico Galileo.	288
5.9 El papel del magisterio.	299
5.9.1 Escuelas y tendencias en la formación profesional de docentes: Unidad, sistematicidad y complejidad.	299
5.9.2 Del dicho al hecho. ¿Por qué los profesores aún no son proactivos ante la experimentación docente?	302
5.10 A manera de Epílogo.	306
Anexos	309
Anexo 1. Estudio basal 2008. Percepción de estudiantes de recién ingreso de carreras de ingenierías sobre la experimentación docente en el aprendizaje de la Física Universitaria: Caso Guatemala 2008. 25 de enero de 2008	310
Anexo 2. Bases del Concurso Galileo. Proyectos científicos ejecutables por alumnos de primer año de las Carreras de Ingeniería.	328
Anexo 3. Algunos registros del Concurso Galileo en los medios de comunicación.	335
Referencias	337

Lista de Ilustraciones

Fig. 1 Ideograma Maya Kaban

Fig. 2. Principales Modelos Constructivistas en la enseñanza experimental de la ciencia

Fig. 3. Modelo Tradicional de Investigación Científica. Sierra Bravo

Fig. 4. Modelo de aprendizaje experiencial (ELT) de David Kolb.

Fig. 5. Modelo de Razonamiento Científico de Ronald N. Giere

Fig. 6. Modelo Científico Integrado (IGS) de Craig Rusbult (2007)

Fig. 7. Modelo Didáctico Epistémico de A. J. León (2009)

Fig. 8. Niels Bohr y Wolfgang Pauli, foto de Erik Gustafson.

Fig. 9. Viñeta de Dino Salinas

Fig. 10. Sistema de adquisición y procesamiento de datos en un MBL

Algunas abreviaturas empleadas en esta Tesis:

ABP: Aprendizaje Basado en Proyectos

BSCS: Estudio Curricular de Ciencias Biológicas.

CERN: Organización Europea para la Investigación Nuclear.

CHEM STUDY: Materiales de Estudio para la Educación en Química

CSMT: Centro para la Enseñanza de la Ciencia y la Matemática.

CTS: Ciencia, Tecnología y Sociedad.

CTSA: Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente

Et al: y otros.

ISBN: Número Estándar Internacional del Libro.

LCH: Gran Colisionador de Hadrones.

MBL: Laboratorios Basados en Microcomputadoras.

N. del A.: Nota del Autor

NFSTP: Proyecto para la Enseñanza de la Ciencia de la Fundación Nuffield

NP: Unión np en los diodos semiconductores

NRC: Consejo de Investigación Nacional.

NSBS: Estudios Básicos de Ciencias Naturales.

NSF: Fundación Nacional para la Ciencia.

OEI: Organización de Estados Iberoamericanos.

Op cit: obra citada

PIB: Producto Interno Bruto

PSSC: Comité para el Estudio de la Ciencias Físicas

RAE: Real Academia Española

TICs: Tecnologías de la información y la comunicación

Resumen:

La educación es la necesidad suprema de la cultura. Sin ella la cultura muere y muere con ella el Ser Humano. Enseñar es siempre una proyección humanizada y humanizadora pasado futuro. Sin pasado, sin historia, no hay educación. La educación se sustenta siempre en creencias, en supuestos y paradigmas. La educación se hace siempre sobre un conocimiento aceptado cuya valía es histórica, social y circunstancialmente determinada. La educación es, en ese sentido, siempre dogmática. El dogma prima incluso en la enseñanza de la Ciencia, y quizás sea allí donde más fuerte sea su influencia. La enseñanza de la Ciencia no es la excepción.

Pero si la Ciencia es el dogma del antidogma, no puede haber una enseñanza significativa, moderna y de calidad, sin que estas propiedades se expliciten y den a entender, convenientemente gradadas y adaptadas a cada nivel. Todo programa de enseñanza de las ciencias, todo el currículo cargado de competencias y objetivos lleva en sí ese mensaje subliminal. Cada generación hace sus propios aportes, crea sus propias creencias en busca de mejores derroteros, pero deja también la impronta de sus incomprendiones. Es la dialéctica del desarrollo la que llena la ciencia de estos zigzag, de esa carencia de linealidad que tanto molesta a algunos educadores que buscan sólo eficiencia y economía del pensamiento. La ciencia, como creación y concreción humana, siempre llevará la impronta del error, de la pasión y de la ceguera humana. ¿Pero cómo saber que lo que sabemos es medianamente verdadero, o al menos medianamente confiable? De eso se ocupa la epistemología, esa parte de la filosofía que trata de los fundamentos y los métodos del conocimiento científico, de la Naturaleza Gnoseológica de la Ciencia. Allí hay más espinas que flores, y los pragmáticos, más que los escépticos, prefieren rodearla antes que saltar el seto. La mayoría de los científicos prefieren este rodeo: hacen ciencia como vuelan las aves. Esto se explica, justo como consecuencia de la educación, porque la casi totalidad de los científicos han sido educados en el dogma. Nacen y mueren dentro de esa creencia, de esa devoción legada que con suerte no ha de fallar, y que, cuando lo hace, provoca cataclismos intelectuales que se denominan revoluciones científicas. En la base de esta teoría epistemológica está la observación y la experimentación científica, esa forma en que los humanos interactuamos con el entorno en búsqueda de certezas, una búsqueda que es siempre objetiva y subjetiva,

pero que desde el punto de vista histórico a mantenido un movimiento pendular en el que se absolutiza cualquiera de ellas. A la reflexión y el análisis de estas cuestiones, no desde el punto de vista filosófico sino educativo, se dedica el capítulo 3: Fundamentos Epistemológicos de la Ciencia y su Enseñaza.

La pregunta que compete a los maestros es aun más compleja: ¿cómo saber que la forma en que enseñamos refleja esta ambivalencia e incompletitud de la ciencia humana, sin caer en el relativismo, sin negar que aquello que enseñamos – sin ser Verdad – es medianamente verdadero, o al menos medianamente confiable y útil?

Cualquiera que sea la respuesta a esta pregunta llevará una ruptura bastante fuerte con la forma en que aún enseñamos ciencia. Enseñamos aún en el dogma de la concepción heredada, en el dogma del número y la búsqueda de lo cuantitativo por encima de lo cualitativo, una ciencia vista como caja *input-output*, y nada más. Enseñamos una ciencia teórica escolástica – más que teórica – en donde el experimento como elemento indispensable para hacer objetiva la educación, se limita a una foto del libro del texto. Enseñamos aún una ciencia antropocéntrica en la que el hombre es más conquistador que descubridor, en donde es más importante plantar la bandera que respetar el entorno. Enseñamos aún la ciencia desde un oxidado esqueleto de acción llamado Método Científico, que conserva de método, sólo el nombre. Enseñamos en el algoritmo más que en la heurística, en la respuesta más que en el proceso. Enseñamos aún la ciencia desde la mirada de los positivistas: «la Ciencia es Física, lo demás es filatelia»; «sólo la ciencia y su continuo y seguro desarrollo podrá salvarnos como especie»; «la tecnología es sinónimo de progreso». Priman en los últimos tiempos, tendencias de contrarrespuestas en donde se hace justo lo contrario: enseñar un concepto de ciencia deshumanizadora, conflictiva y amenazante, enseñar que tecnología es igual a muerte y destrucción. Si criticable es la concepción heredada, tanto o más lo es esta visión oscurantista que convierte la exploración del Universo y la explotación racional de los recursos en antesala del Armagedón.

Y en ocasiones, con total tranquilidad de cuerpo y espíritu, para un enorme sector de ese minúsculo sector favorecido por la educación en Nuestra América, sencillamente no la enseñamos.

Imprescindible en este análisis es el papel que puede, y tiene que jugar la experimentación, no sólo como concreción elemental del objeto de estudio, sino como herramienta didáctica de extrema utilidad para modificar esta visión deformada de la ciencia. La experimentación científica tiene su propia dinámica, pero la dinámica de la experimentación didáctica para la enseñanza de la ciencia es otra. A la reflexión y el análisis de estas cuestiones, desde el punto de vista de su desarrollo histórico, se dedica el capítulo 4: Enseñanza significativa de la ciencia y experimentación.

La experimentación didáctica, es sin lugar a dudas, la forma de enseñanza que más cambios ha experimentado en los últimos veinte años. Coincidiendo con el desarrollo, extensión y asequibilidad de las microcomputadoras, coincidiendo con el abaratamiento de la nanotecnología electrónica, nuevas formas de experimentar dejan completamente obsoletas las formas tradicionales de la escuela, haciendo posible por primera vez en la historia, hacer de la experimentación algo democrático y no elitista. Hay, sin embargo, muchas trampas en este camino. Contraproducente sería exigir una experimentación si sólo se aborda desde su perspectiva teórica. Inútil sería proclamar una práctica que sea invalidada por factores económicos, culturales o sociales. Nadar fuera del agua es muy fácil. A ello dedicamos el capítulo 5: Un modelo viable para la experimentación en la enseñanza de la Física. En él compartimos nuestra modesta experiencia, local y limitada, humilde pero funcional, más como ejemplo que como vía segura de probar que el sueño americano es posible.

A pesar de que el trabajo de investigación se desarrolla dentro del marco estrecho de la experimentación didáctica para estudiantes universitarios de ingeniería, muchas de las observaciones y conclusiones son perfectamente válidas y aplicables a los niveles educativos inferiores. Un comentario similar requiere la experimentación en las otras ciencias naturales, de modo que se espera que el impacto de esta Tesis no quede restringido solamente a la experimentación educativa de la Física Universitaria.

Mucho se habla del sueño americano y de su consecución, de esa posibilidad individual de revertir una historia de miseria y desesperanza que hace que millones

de latinos intenten cruzar fronteras. Ese es el sueño de los mojados. Aquí hablamos de otro sueño americano que llega al individuo a través del colectivo, que no requiere cruzar barreras física sino mentales, que requiere más la búsqueda de una añoranza común que la búsqueda de una salvación personal. Hablamos de la enseña como el verdadero sueño de Nuestra América. Los verdaderos retos están en el desacuerdo y la intolerancia, en hacer primar los intereses individuales o sectarios por encima de las necesidades de un futuro cada vez más apremiante. Nuestro reto máximo está en aprender de la historia evitando esa tendencia extremista que limita las potencialidades latinoamericanas. Esperemos que estas intenciones no se queden en una declaración romántica¹.

¹ N. del A.: Isaac Felipe Azofeifa, un pedagogo costarricense, escribía hace 70 años justo sobre este tema “sin eufemismos, en este país del eufemismo, en que todos estamos de acuerdo mientras no toquen nuestros intereses creados”.

“Esperemos que estas intenciones... no se queden – como sucede tantas veces a causa de nuestro tropicalismo patológico – en la declaración romántica, en el ridículo...de una voluntad soñadora de fines magníficos, pero incapaz del sacrificio, de la persistencia en el esfuerzo, del ímpetu frío y sereno, cuando la realidad levanta frente al propósito el obstáculo decisivo de los intereses creados y de las falsas vanidades que hay que azotar y reducir”

Abstract:

Education is the supreme necessity of culture. Without it, the culture dies and with it dies the Human Being. Teaching is always a projection of the past and the future humanized and humanizing. Without the past, there is no history and no education. Education is always based on beliefs, assumptions, and paradigms. Education is always achieved through an accepted knowledge whose value is historical, social and circumstantially determined. Education is, in this sense, always dogmatic. The dogma is always present even in the teaching of science, and perhaps there we find its stronger influence. The teaching of science is no exception.

But if science is the dogma of antidogma, there can be no meaningful teaching, modern and with quality, without which these properties are made explicit and give an impression, properly graded and adapted to each level. Any science program's teaching, which carries across the curriculum competencies and objectives, also carries with it this subliminal message. Each generation makes its own contributions, creates its own beliefs looking for better paths, but also leaves the imprint of their misunderstandings. It is the dialectic of development that fills science with these zigzags. This lack of linearity bothers so many educators that seek only efficiency and economy of thought. Science, as a human creation and realization, always bears the marks of error, passion and human blindness.

But how do we know that what we know is fairly true, or at least fairly reliable? That is epistemology's concern. It is the part of philosophy that deals with the fundamentals and methods of scientific knowledge, the gnoseological nature of science. There are more thorns than flowers, and the pragmatics, more than the skeptics, prefer to walk around than jump the hedge. Most scientists prefer this detour: they practice science as the birds practice flying. This is an education consequence, because almost all scientists have been educated in dogma.

They are born and die in that belief, devoted to a legacy that hopefully should not fail and when it does, causes intellectual cataclysms called scientific revolutions. The observation and scientific experimentation are the basis of the epistemological theory. In this basis lies the ways humans interact with the environment in search of certainty; a search that is always objective and subjective, but from a historical point of view has maintained a pendulum motion in which either is made absolute. A

reflection and analysis of these issues, from the educational point of view rather than philosophical, is found in Chapter 2: Epistemological Foundations of Science and its Teaching.

The question to teachers is even more complex: how do we know that the way we teach reflects this ambivalence and incompleteness of human knowledge without falling into relativism, without denying that what we teach – without being true - is moderately true, or at least moderately reliable and useful?

Whatever the answer to this question is, it would cause a strong rupture with the way we still teach science. We still teach the dogma of “inherited conception”, the dogma of the number and looking for the quantitative over the qualitative. This is a science viewed as an *input - output* case, and nothing more. We teach a scholastic theoretical science - rather than theoretical – in which the experiment as a necessary objective for education, is merely a picture book text. We still teach an anthropocentric science in which the man is more a conqueror than a discoverer, in which it is more important to nail the flag than to respect the environment.

We still teach science from a rusty skeleton of action called the scientific method, which preserves only the name. We teach in the algorithm rather than the heuristic, in the response rather than the process. We still teach science from the perspective of Positivism: "Science is Physics, the rest is philately": "only the science and its continued rollout can save us as a species": "technology is synonymous of progress." But also contrary tendencies are emerging in recent times, countertrends doing the opposite: to teach a concept of dehumanizing science, conflicting and threatening, to teach that technology is equal to death and destruction. If “inherited conception” must be criticized, even more so this obscurantist vision that makes exploration of the universe and the rational exploitation of resources an anteroom of Armageddon.

And sometimes, with complete peace of mind and body, for a large part of that tiny sector favored by the education in Our America, we simply do not teach it.

The role that experimentation can and must play in this analysis is essential, not only as a basic realization of the object of study but as an extremely useful teaching tool to change this distorted view of science. Scientific experimentation has its own dynamics, but the dynamics of teaching experiments for science education has

others. A reflection and analysis of these issues from the standpoint of historical development, is the focus of Chapter 3: Meaningful Teaching of Science and Experimentation.

The physics experimental teaching is, without a doubt, the form of teaching that has undergone more changes in the last twenty years. Concurrent with the development, size and affordability of microcomputers coinciding with the cheaper electronic nanotechnology, new ways to experiment have made the traditional forms of school completely obsolete, making experimentation democratic and not elitist for the first time in history. There are however, many traps along the way. It would be contradictory to require an experimental approach only from its theoretical perspective. To proclaim a practice undermined by economic, cultural or social factors would be useless. It is easy to swim out of the water. To this topic we devote Chapter 4, A feasible model for experimentation in physics teaching. We share our modest experience, local and limited, modest but functional, more as an example than as a safe path to prove that the American dream is possible.

Much is said about the American dream and its achievement as individual possibility to reverse a history of misery and hopelessness that makes millions of Latinos attempt to cross borders. That is the dream of “*mojados*”. Here we talk about another American Dream that reaches the individual through the collective, which does not require a physical but rather a mental crossing of borders that calls for the search for a common longing to find a personal salvation. We talk about teaching as the true dream of Our America. The real challenges are in disagreement and intolerance, to prioritize individual and sectarian interests over the needs of an increasingly urgent future. Our ultimate challenge is to learn from history, to avoid extremist trends that limit the potential of Latin America. We hope that these intentions do not remain in romantic statement.

PARTE I. INTRODUCCIÓN

Capítulo 1. Introducción a la investigación.

1.1 A modo de aclaración

La gran tarea de todo trabajo, no es la precisión del problema, ni la revisión de los datos, ni el mismo diseño de la investigación, sino la realización misma.

Olmedo España.

Esta investigación se ha desarrollado sobre la base de más de treinta y cinco años de ejercicio en la enseñanza de la ciencia a nivel universitario en varias universidades del continente latinoamericano. Más como efecto que por pura casualidad, es también consecuencia de la formación múltiple en Ciencias y Filosofía del autor. Por fortuna, en ese período la enseñanza de la ciencia ha sufrido una muy notable transformación en cuanto a sus propósitos, diseños, materiales, y competencias que, desafortunadamente, no ha recibido siempre la atención requerida en la educación científica. Algo similar puede expresarse en cuanto a la Teoría Epistemológica y la Filosofía toda, inmersa en un período de relativismo – o al menos de ausencia de reconocimiento de un paradigma único – que testimonia la presencia de una revolución kuhneana.

En respeto al más estricto apego a la verdad científica, en esta Tesis no ha habido – y creemos que difícilmente pudiera haberlo habido – un método o metodología única, una hipótesis primigenia que sirviera de guía y derrotero para la misma. Uno de los temas más discutidos en la Tesis es precisamente el carácter falaz del llamado Método Científico en el estudio de las Ciencias Naturales tan omnipresente en la educación y tan perturbador desde el punto gnoseológico. Con mucha mayor razón, intentar restringir la investigación-acción educativa, infinitamente más compleja que la investigación en ciencias básicas, al marco de una línea “problema observado → objetivos → hipótesis → resultados → discusión” parecería contraproducente para cualquier lector cuidadoso.

La sapiencia, experiencia y confianza de los asesores de esta Tesis, Dr. Olmedo España Calderón y Dra. Beatriz Villarreal Montoya, han permitido desarrollar y

salvar esta Tesis con libertad, fuera de las restricciones positivistas de la concepción de la investigación social, que aún siguen imperando de forma muy sutil en la estructura de nuestras universidades. Dada la posible connotación de tales afirmaciones, desearía aclarar que hay dos formas extremas de negar la importancia de «El Método». La primera, desde posturas anárquicas y dogmáticas en donde la teoría se niega sobre la base del empirismo crudo, una tendencia que generalmente se asocia al desconocimiento de las fortalezas de los métodos de investigación. La segunda, desde posturas basadas en el conocimiento de las propias limitaciones de cada uno de los métodos, bien sean cualitativos o cuantitativos, para abordar, de modo seguro y predictivo, los problemas de la educación, que son los problemas del Hombre y de la Sociedad. El autor ha desarrollado durante decenios cursos de estadísticas y técnicas de investigación a nivel superior, ha ejercido tanto la investigación superior en las llamadas ciencias duras como en las humanidades y está convencido de que restringir una propuesta como la abordada en esta Tesis a “una metodología” sería sólo una absurda insensatez.

Lo que se hará entonces, es respetar lo establecido desde posiciones críticas, sin caer en forcejeos que a nada conducirían. Nada bueno han traído a los países de Nuestra América las posturas radicales y los dogmas inflexibles. El lector inteligente puede obviar los epígrafes relativos a planteamiento del problema, hipótesis y métodos porque se hacen más por respeto, por cumplir con las normas de esta Alta Casa de Estudios, que porque así haya ocurrido. Esto tendrá un precio. Algo de la unidad intrínseca de la Tesis se verá afectado en su estilo y en la inevitable disgregación.

De forma humilde y sincera, ruego disculpas y comprensión a aquellos puritanos que aún creen de buena fe en «El Método», a aquellos anárquicos o románticos que piensen que no debería cederse en una cuestión de principios, y aquellos ortodoxos renuentes al cambio que ven, en la crítica de las normas, el fin del mundo.

1.2 El contexto. Ciencia, Tecnología, Sociedad y Educación.

1.2.1 Al principio y al final, siempre el Maestro.

Esta Tesis comienza y termina hablando de los maestros, ese grupo social tan devaluado y vilipendiado². Si usted persigue fortuna, fama y reconocimiento, deje el magisterio. Ésta puede ser la conclusión de una supercomputadora como *Deep Blue*, la máquina de IBM que derrotó a Kasparov. Sin embargo la figura del Maestro se mantiene en algo que las máquinas no comprenden: la utopía. Quienes Enseñan – y me refiero a enseñar con mayúscula – nunca piensan en dividendos o reconocimientos explícitos, enseñan igual si les pagan x que si les pagan $1.5x$ unidades monetarias. No son santos, buscan y necesitan la remuneración como cualquier otro trabajador, llegan en ocasiones ha combinar otros oficios más mundanos para llenar la canasta básica; pero no dejan de enseñar con pasión. Algo tienen de elegidos, de arcángeles.

A estos Maestros está dirigido el mensaje como única fuerza motriz capaz de generar un cambio de lo particular a lo general, de abajo a arriba, no por decreto sino por iniciativa y compromiso con la ilusión. Claro que la Administración debe apoyar, pero la propuesta debe partir de un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Mucho se habla de tecnología, que si las TICs para aquí que si las TICs para allá, mucho se habla de prospección educativa, de nuevas tendencias y estrategias educativas, de perenne reforma curricular, de la importancia del estudiante como centro del proceso, pero muy poco se explicita que

² N. del A.: Hugo Assman, ese pensador al que Leonardo Boff caracteriza como “quizás el más versátil, vigilante y crítico”, señala:

“Es tal el desprestigio de la profesión de educador en algunos países que a muchas personas les resulta ingenuo e idílico plantear directamente la propuesta de sumar esfuerzos para que, en nuestras escuelas, se pueda disfruta de las experiencias de aprendizaje.”

Más allá de lógicas y círculos viciosos sobre como superar esta crisis, nuestra tesis se apoya continuamente en un actitud propositiva del magisterio, de un reclamar a cambio de, de una dignificación que surge de la excelencia en el desempeño.

De nada valen las luchas reivindicativas si el magisterio no las acompaña con un fuerte y genuino compromiso propio con la calidad pedagógica. Assman acota: “Solamente educadores entusiasmados con su papel en la sociedad logran crear una opinión pública favorable a sus demandas”

Assman, H. (2002): Placer y ternura en la educación: Hacia una sociedad aprendiente. ISBN: 84-277-1391-6. Narcea S.A. Ediciones, Madrid.

sin el profesor la educación se convierte en proceso industrial, en línea de producción. El profesor es el modelo primero, es el que anima y acicata, el que reconoce o corrige. Es él quien aporta humanidad a todo el proceso. Decía Martí que «hay muchos hombres sin decoro... pero hay hombres que llevan en sí el decoro de muchos hombres». De las decenas de profesores que hemos tenido en vida, es cierto que no todos, cumplían con estas virtudes, pero a más de uno les recordamos con afecto y agradecimiento, más de uno nos inspiraron a ser lo que hemos logrado ser. No son todos, pero sí los suficientes. Un buen profesor puede inspirar de por vida, uno malo, hacer que se muera en vida. Sin Maestro no hay educación.

¿Cuál es entonces la razón de esa llamada crisis del magisterio? Tres grandes pilares ha tenido la educación en los últimos cinco milenios: la familia, la iglesia y el maestro. La llamada crisis del magisterio, no es tal. La culpa la tiene la familia, que disgregada y sin fuerza cede su obligación primera al maestro, como si éste pudiera resolver con cuarenta lo que los padres no pueden resolver con dos. La culpa la tiene la iglesia, relegada y desvirtuada como rectora ética y moral. La culpa la tiene la sociedad que ha abandonado la figura del maestro como kamikaze a punto de inmolarsse. Es crisis de la sociedad, no de las mujeres y hombres que educan. La sociedad no se ha preocupado por preparar de forma básica y continua; la sociedad no ha priorizado los recursos adecuados para que el trabajo pueda ser hecho; la sociedad no ha meritado ni remunerado este trabajo de excepcional importancia como debería haberlo hecho, la sociedad, en búsqueda de la tan añorada libertad

democrática³, ha hecho que, en ocasiones, el voto del estudiante pueda convertirse en veto para aquellos docentes que no se amolden a un ambiente relajado y complaciente. La sociedad ha permanecido impávida ante la demanda creciente del número de profesores y ha permanecido insensible ante un magisterio cuyas competencias en lo teórico, lo técnico y lo humano, han venido en continuo decrecimiento. La sociedad ha volteado la vista ante la pérdida creciente de autoridad real de la figura del maestro. Es mejor decir que somos demócratas aunque la escuela se desarme. Al parecer, Durkheim tenía razón cuando decía:

“...como la democracia tiene principalmente por objeto despertar y desarrollar el sentido de la autonomía personal, y como autonomía y autoridad pasan – ¡qué error! – por ser cosas que se excluyen, parece natural que la democracia implique y determine un debilitamiento del sentido de autoridad... Será necesario que la escuela del mañana vuelva sobre este grave error”.⁴

No nos llamemos a engaño: en educación la figura central es el estudiante, pero la figura más importante es el maestro. Si bien es cierto que sin alumnos no hay escuela, sin maestro ésta se convierte en horda.

³ N del A: Las encuestas de evaluación al docente.

En Nuestra América la libertad democrática se asume por muchos – y se tolera por casi todos los gobiernos – como emblema para el libertinaje desatinado. Los humanos copiamos estructuras y comportamientos, porque somos unos, bien sea estemos en la casa o en el estadio. Si la democracia es entendida como libertad para desacatar el orden y aplicar medidas de fuerza como la interrupción de caminos, la quema de neumáticos o incluso la ejecución y linchamiento de otros seres humanos, éstas han de ser las pautas que se extrapolen a otros ámbitos de la sociedad como el hogar y la escuela.

Estas influencias hacen aparecer un nuevo rasgo, en donde la democracia en la escuela es entendida como capacidad por parte del estudiantado para dictar pertinencia y permanencia del profesorado. Si la democracia en la escuela se trastoca en libertinaje, el docente se hace sumiso y plegable ante un estudiantado que intenta dirigir, de forma absoluta, desde las reglas del proceso hasta la toma de decisiones. Como en un proceso de selección natural, muchas encuestas de opinión van segregando al docente capaz y exigente desplazándolo por un docente timorato, bien aceptado y recibido por el grupo, no por su influencia como educador, sino por ser amorfo, tolerante y superficial. La evaluación docente, de encuesta democrática, se convierte en estos casos en *Sacra Inquisitio*. No se trata de aceptar al maestro como tirano, ni negar la tremenda importancia de cómo lo ve el estudiantado; de lo que se trata es de reconocer una autoridad conveniente respaldada y acreditada no sólo por un pergamino, sino por su competencia, capacidad, entereza y entrega del día a día, por la autoridad de aquel que no se duerme en sus laureles.

⁴ Durkheim, É. (1998): Educación y Pedagogía. ISBN: 950-03-8382-9 Ed. Losada. Buenos Aires.

Durante la XIII Conferencia Iberoamericana de Educación, celebrada en Bolivia en 2003, se abrió un debate para intentar dar respuesta a aquellos elementos de la formación docente que pudieran adecuar el cambio magisterial a los nuevos retos de la escuela y la sociedad. Allí se preguntaba:

“¿Cómo transformar la escuela moderna concebida hace doscientos años en una institución que responda a las necesidades de un mundo globalizado, de una cultura massmediática, de unos niños que sobre muchas cosas saben más que nosotros, de un mercado de trabajo flexibilizado cuyas demandas formativas mutan constantemente? ¿Cómo confiar en el sentido de lo que enseñamos si las certezas científicas y la confianza ilustrada en el progreso indefinido del conocimiento están siendo profundamente cuestionadas?”⁵

Esta tesis pretende contribuir a dar respuesta a estas interrogantes desde el estrecho perfil de la experimentación didáctica de las ciencias naturales y sus vínculos con la ciencia y la epistemología, pretende adecuar la práctica docente a una nueva escuela distinta y específica, pero moderna y tecnológica.

1.2.2 Experiencia, experimento, experimentación.⁶

Experiencia, experimentación y experimento, son términos que requieren desambiguación. Cinco acepciones presenta la RAE para la experiencia como hecho, práctica, circunstancia y procedimiento, por un lado, y como producto cognitivo por el otro. Siguiendo a Abbagnano⁷, la experiencia puede ser entendida como el producto cognoscitivo de la participación personal en situaciones repetibles, o como el recurso epistémico para buscar las posibles soluciones. La primera es

⁵ Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) (2003): *Renovación de Ideas y Formulación de Estrategias Tendientes al Fortalecimiento de Políticas de Formación Docente*. XIII Conferencia Iberoamericana de Educación. Bolivia.

⁶ N. del A.: Se agradece la sugerencia de este epígrafe a la Dra. Beatriz Villarreal Montoya.

⁷ Abbagnano, N. (2007): *Diccionario de Filosofía*. ISBN: 9681656296. Editorial: Fondo de Cultura Económica.. México.

intrínsecamente personal, la segunda absolutamente impersonal. La primera es meta de la educación, la segunda, vía para alcanzarla desde enfoques científicos. El elemento común entre ellas es la sujeción a la regla por repetición y la independencia de la experiencia de las creencias que está llamada a controlar. Se excluyen, por tanto, las ilusiones repetidas, los trances provocados, o las llamadas experiencias místicas. La experiencia tiene, en este sentido, que ser objetiva. La segunda definición, la impersonal, es la que da lugar a la experimentación científica que cobra forma en el empirismo filosófico. Esta Tesis busca la primera apoyándose en la segunda.

La primera es de uso común y más antiguo que la segunda y ya se abordaban en profundidad en la Grecia Clásica (Platón, Leyes IV y Aristóteles, Metafísica). La segunda cobra forma a través del Empirismo y en él, empléase como criterio o canon de la validez del conocimiento distinguiéndose del burdo sensualismo. La experimentación se entenderá como la acción de experimentar, de desarrollar experiencias controladas de acuerdo con la segunda de estas definiciones.

Si bien sus fundamentos inductivos están ya presentes en Epicuro, cobran corporeidad en el renacimiento inglés como contraposición al racionalismo continental, excepción hecha de Leonardo y Galileo. Roger Bacon en el siglo XIII proclama: “Sin la experiencia nada se puede conocer suficientemente”, mientras que para William de Occam la experiencia es “el principio del arte y de la ciencia”. Estos fundamentos quizás puedan explicar el desarrollo del Empirismo en la Isla con figuras tan emblemáticas como Locke, Francis Bacon, Hume, Berkeley y Newton. Mención especial requiere el caso de Bacon que ve como guía del conocimiento no la simple experiencia sino el experimento, entendido este como la experiencia guiada y disciplinada por el entendimiento. Hume desarticula la experimentación al minar la causalidad, Berkeley crea un empirismo idealista, mientras que Kant intentará resolver a Hume planteando que la validez objetiva de las categorías como conceptos a priori se apoyará en el hecho de que sólo por ellas es posible la Experiencia. Como respuesta a las ventanas racionalistas de Kant; Stuart Mill, y luego Comte y luego Mach harán prevalecer ese empirismo como doctrina científica positivista que termina en sensualismo primero, y luego en lógica semántica con Carnap. Husserl, el padre de la fenomenología, se dedica a lo conciente de la

experiencia, mientras que su discípulo Heidegger sustituye la intencionalidad de la experiencia de Husserl por una temporalidad. Gadamer, por su lado, establece que desde la hermenéutica filosófica, solamente son posibles las experiencias si estas tienen expectativas, por eso una persona de experiencia no es la que ha acumulado más vivencias, sino la que está capacitada para permitirse las.

Absurdo sería pretender resumir, en un párrafo, la ancestral disputa filosófica de la episteme. Nada más alejado de nuestra intención. El propósito es mostrar lo eterno de estas búsquedas y querellas milenarias en el intento de resolver los problemas ontológicos y gnoseológicos de siempre, problemas que son la base del descubrir y el aprender científico, y por tanto, de su enseñanza.

Más allá de absolutismos y relativismos, la ciencia moderna no puede ser concebida alejada de la experimentación. Desde el punto de vista didáctico, algunas diferencias muy notorias aparecerán entre la experimentación científica, propiamente dicha, y la experimentación en la escuela. Para este propósito, por experimentación didáctica se entenderá en esta Tesis aquellas actividades en donde el estudiante se involucra activa y racionalmente en la observación, manipulación o medición de objetos o procesos de estudio reales, materiales, objetivos.

1.2.3 Epistemología, Experimentación y Enseñaza

Epistemología, Experimentación y Enseñaza son términos cuya concatenación es relativamente reciente. Los problemas epistemológicos, de marcado corte filosófico, han sido abordados desde la antigüedad. Como ocurre en un típico problema de falsación, la epistemología avanza más encontrando cosas que supuestamente dábamos por ciertas y no lo son, que resolviendo aquellas basales y existencialistas cuya respuesta, quizás nunca encontremos dentro de esa propia teoría del conocimiento. El relativismo ha llegado incluso al experimento. Hay formas racionales de probar que vemos lo que queremos, de modo tal que el sólo acercamiento al objeto de estudio, lleva la impronta de lo humano como elemento contaminante. Ese es uno de los desencadenantes del relativismo extremo que impera en la filosofía de la ciencia. El relativismo de la filosofía postpositivista se replica en la relatividad imperante dentro de la teoría educativa. Es triste aceptar que

no hallamos una teoría única y firme que nos refuerce sobre el cómo aprendemos, duro cuestionarse si algún día la encontraremos, difícil tener que excluir de la ciencia educativa esa componente eminentemente humana que llamamos inspiración, espiritualidad y arte.

¿Para qué perder tiempo y recursos en asuntos tan espinosos y exóticos, qué ventaja real pueden obtener nuestros estudiantes si el maestro entiende y ejerce – sin ser especialista – tamaño enredo? ¿Cómo puede conciliarse y enseñarse una ciencia objetiva si ni los científicos saben qué cosa es esa cosa llamada ciencia? La enseñanza no puede obviar tan grandes conflictos. En primer lugar por que no puede cerrar los ojos a una realidad compleja invasiva. Si algo hay cierto en la época que nos ha tocado vivir, es precisamente la incerteza. Edgar Morin lo dice así:

“Se tendrían que enseñar principios de estrategia que permitan afrontar los riesgos, lo inesperado, lo incierto, y modificar su desarrollo en virtud de las informaciones adquiridas en el camino. Es necesario aprender a navegar en un océano de incertidumbres a través de archipiélagos de certeza.”⁸

En segundo término, porque de estos temas abisales puede depender el futuro de nuestra especie.

Si uno de los propósitos de la educación es desarrollar las capacidades que harán preservar la cultura y el género humano, el profesorado tendrá que sumergirse irremediamente en estos temas por escabrosos que puedan resultar. Hay tres salidas prohibidas para el magisterio – para la sociedad toda – detrás de este relativismo: el «todo vale», el «nada vale» y el «nada vamos a hacer».

El maestro de ciencia ha de ver la ciencia desde una perspectiva especial. No se trata de ver la ciencia como misterio revelado ni como pócima exacta para nuestros males. Y luego ha de enseñarla. El maestro de ciencia ha de ver la experimentación como interfaz entre los dos mundos, el subjetivo cargado de humanidad, y el real

⁸ Morin, E. (2001): *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. ISBN: 950-602-422-7. Ed. Nueva Visión. Buenos Aires.

material; ha de distinguir la experimentación científica de la experimentación didáctica. Y luego ha de enseñarla. Enseñar ciencias sin una idea cabal de qué es la ciencia, cómo se hace, cómo se refuta, cómo se complementa; es como intentar que un daltónico describa la diferencia entre el rojo cereza y el naranja. Enseñar ciencia sin experimentación, es como enseñar historia sin pasado ni presente, como enseñar ortografía sin letras. Enseñar ciencia sin la moderna tecnología, es como instruir a un cibernético con una antigua máquina de escribir.

Es prudente recordar siempre que las panaceas no existen. El trabajo experimental es insustituible, pero ni es perfecto ni garantía de una educación exitosa. Con tan complejos retos no pueden intentarse soluciones radicales que sólo terminarían engavetándose en Ministerios y Rectorías. En Nuestra America son comunes las propuestas que van de extremo a extremo: Si no tenemos laboratorios, no demos clases; si no tenemos pizarrones ¡exijamos *smartboards* en cada aula! La sabiduría indica que es la visión sistémica, compleja y polivalente, la perspectiva holística y pragmática, la capacidad de adaptar lo casuístico o individual a lo universal, la única forma que puede sacar adelante el empeño por hallar las soluciones para tan complejos propósitos asociados a una mejor educación de la ciencia.

1.2.4 Nuestra meta: ser renacentistas.

La experimentación es la estrategia perfecta para romper los rígidos marcos de las disciplinas. Si, después de todo llevamos más de un siglo insistiendo en la experimentación como herramienta para la enseñanza de la ciencia, ¿qué nuevos factores hacen necesario revisar nuestra posición con respecto al tema? En primer lugar una comprensión de que lo epistémico no puede ser ni excluido ni obviado del proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias. En segundo lugar un cambio en lo tecnológico en donde las computadoras juegan un papel cada vez mayor, bien sea para obtener información a través de sensores; procesar y modelar la data, y compartir las inferencias que de ella se desprenden. En tercer lugar un afianzamiento casi universal – al menos desde la perspectiva teórica – de las tesis constructivistas centradas en el aprendizaje activo, en donde la experiencia del estudiante es la vía por excelencia. En cuarto lugar, una visión más exhaustiva y crítica de cómo ven, estudiantes y profesores, curriculistas y administradores, el trabajo experimental.

Por último, la urgencia de una transformación enfocada en las realidades de Nuestra América.

La tesis constructivista se asienta en la creencia de que la mayoría de las personas aprende mejor a través de la experiencia personal. Puesto que las personas construyen el conocimiento mediante la conexión de la nueva información con lo ya sabido, el aprendizaje es mucho más fácil cuando los estudiantes participan directamente en la exploración de temas que no les son ajenos, de preguntas que son relevantes para sus vidas. Pero esta misma tesis da cuenta de lo importante que es la experiencia educativa desde la cuna. Si somos lo que comemos, desde el punto de vista metabólico, somos lo que aprendemos en ese entorno social primario en el que transcurre nuestra infancia y adolescencia. La educación en ciencias, desde la perspectiva formal, llega casi en la adolescencia, una edad en donde los patrones de conducta y pensamiento ya han sido afianzados por toda la educación previa.

Crear ese sentido de pertenencia en cuanto a los temas de la ciencia generalmente es complejo y presupone siempre un proceso de implantación – en el transcurso de varios años – de estas apetencias y necesidades intelectuales. Se sabe que la enseñanza básica no siempre trae mieles a la educación superior. Una gran mayoría de nuestros jóvenes supone que su tarea es imitar y ejecutar, ir a una respuesta unívoca y segura que contrasta con las presunciones constructivistas del currículo y denotan que, en la práctica, las experiencias de aprendizaje previas han discurrido entre lo memorístico, lo algorítmico y el teorema del mínimo esfuerzo. Durante varios años hemos ido acumulando evidencia sobre estas deficiencias. La inmensa mayoría de nuestros estudiantes de recién ingreso a las carreras de ingeniería han llevado uno o ningún curso de Física en su enseñanza preuniversitaria y la experimentación ha sido prácticamente nula. En el **Anexo 1** se muestran los resultados de un estudio basal realizado en 2007-2008 como parte del Doctorado.

Los albores del siglo XXI registran estas preocupaciones crecientes de los educadores en cuanto a los riesgos de una educación sesgada, o cada vez más temprana en su especialización, a expensas de aquella otra formación más general que supuestamente beneficiaría a la persona y su futura vida como ciudadano. La

ciencia parece llevar la peor parte en esta carrera. Como ocurría con los aprendizajes de los oficios en el medioevo, como sigue ocurriendo en la enseñanza por castas en muchos lugares de la India, la especialización en América Latina casi comienza en la cuna. En palabras de Leman Stefanovic⁹, es preciso crear un "modelo cívico" de la educación que priorice una mayor conciencia cultural y la reactivación de lo que un día se entendió como el espíritu renacentista.

La crisis puede conducir al caos y la anarquía, pero puede ser caldo perfecto para una superación humana que contemple todas las expresiones de la cultura. La utopía sería impregnar en nuestros estudiantes el espíritu renacentista. Copérnico, Da Vinci, Galileo, Miguel Ángel, Descartes, Bacon, no se consideraban astrónomos, médicos, escultores, ingenieros o pintores. Eran seres humanos integrales abocados a un salto histórico necesario, hombres que rompieron los rígidos esquemas de su tiempo. Galileo es el renacentista por antonomasia. Estudia teología y luego medicina, enseña más tarde matemáticas para dedicarse luego al arte de construir lentes para luego reclamar, como máximo galardón, el título de filósofo.

La educación renacentista, según Abbagnano¹⁰, se caracteriza justo como renovación humanista, una educación que persigue “« formar al hombre en cuanto hombre», no médicos, ni jurisconsultos, capitanes o eclesiásticos, ni ningún otro tipo de profesional con capacidades particulares”, una educación en donde las “«artes liberales» no se estudian por ellas mismas, sino porque se las consideraba más aptas para desarrollar armoniosamente las facultades del individuo...”

Hermoso sería poder aspirar a esta visión integra y compleja de ser humano, hermoso sería proclamarnos renacentistas en el sentido de romper las barreras que separan lo científico de lo humanista, lo teórico de lo práctico, lo epistémico de lo pragmático.

⁹ Leman Stefanovic, I. (2005): *Challenging Traditional Academic Borders through Interdisciplinarity*, Limina: Thresholds and Borders, A St. Michael's College Symposium, Joseph Goering, Francesco Guardiniani, Giulio Silano eds., Ottawa: Legas, 2005:197.

¹⁰ Abbagnano, N.; Visalberghi, A. (2008): *Historia de la Pedagogía*. Fondo de Cultura Económica. ISBN: 978-968-16-0637-4. México.

Esta aspiración es, según López, el reto supremo de la Educación Universitaria:

“Este es un reto profundamente universitario: el compromiso con la búsqueda de inteligencia, de razonabilidad, de responsabilidad, es un compromiso que nos toca prioritariamente a los que nos dedicamos a pensar, a leer, a estudiar la realidad. Ir más allá de nuestros caprichos, de nuestros prejuicios, de nuestras descripciones sesgadas o ideologizadas hacia verdaderos análisis de la realidad es un reto que se deriva de asumir esta invitación a entender el acto de entender para apropiármolo y autoapropiarnos.”¹¹

Recuperar el espíritu renacentista no es más que proyectar su esencia misma de pensamiento crítico desde una perspectiva humanista, un humanismo que alienta la creencia en la propia capacidad para comprender, para interpretar y pensar conectando ideas de todo tipo, que nos permitan fundamentar nuestro hacer.

¹¹ López, M. (2000): *Comprender para comprendernos. Una reflexión a partir de Insight de Bernard Lonergan*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, Vol XXX, núm 4. 2000. México.

1.2.5 En defensa de la Ciencia: Paradigmas para la Educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad

No puede hablarse de educación contemporánea si en ella no está implícita la educación científica. El desarrollo de la humanidad y el uso racional de recursos que conlleva, sólo puede darse si los miembros de estas sociedad son capaces de generar, adaptar y usar con sabiduría el conocimiento científico. Por otro lado, el conocimiento que se deriva de y en las actividades científicas y tecnológicas provee al ciudadano de herramientas insustituibles para entender y tomar decisiones de naturaleza social y cultural. No se puede concebir la democracia sin Ciencia, la democracia sin razón de causa para entender, evaluar y emitir el voto en libertad.

Nuestra América está en desventaja en la nueva carrera hacia la sociedad del conocimiento. La brecha entre los países desarrollados y los pueblos de Nuestra América, abarcan un amplísimo panorama de desigualdades que Crovi ¹² resume en tecnológicas, cognitivas, informativas, económicas y participativas. Todas ellas deben abordar, en algún momento, una conexión segura con la educación científica continua y el compromiso comunitario con planes de investigación y desarrollo. Su solución es, al parecer, la marca de una nueva relación entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente que caracterizará a la nueva sociedad. La educación es entonces estrategia, herramienta y objetivo de esta nueva sociedad.

Cinco paradigmas – y sus estrategias de acción concomitantes – enmarcan la visión prospectiva en cuanto a ciencia, tecnología y su educación para alcanzar la sociedad del conocimiento.¹³

1. La educación en ciencia y tecnología puede contribuir significativamente a incrementar los estándares de vida de la sociedad, a generar riqueza y progreso económico sostenido y sustentable.

⁶ Crovi, D. (2004): *Sociedad de la información y el conocimiento. Entre lo falaz y lo posible*. UNAM y La Crujía Ediciones. Buenos Aires, Argentina. p. 17 – 56.

¹³ Departamento Nacional de Planeación (2006): *Fundamentar el crecimiento y el desarrollo en la Ciencia, la Tecnología y la innovación.*, ISBN: 958-8025-77-7 Grupo OP Gráficas S.A. Bogotá

América Latina ha vivido eternamente prendida a sus *commodities*. A veces minerales o petróleo, a veces café, azúcar o soja. A veces seres humanos cuya única fortaleza se deriva de su analfabetismo y su necesidad: braseros migrantes que constituyen una nueva versión de culíes del siglo XXI. Todo un continente a expensas de una demanda foránea cuyo vaivén le permite malvivir de crisis en crisis. ¿Qué han hecho otras sociedades para salir de esa dependencia? Al margen de doctrinas políticas, todas han apostado por lograr una mayor agregación de valor en procesos de producción y distribución, por potenciar la generación de empleos más productivos que eleven los niveles de ingresos y permitan que una creciente proporción de la población mejore su nivel de vida. Y para ello, la educación en ciencia y tecnología es imprescindible. Insalubridad, pobreza, corrupción e inequidad pueden mitigarse si se recurre a las capacidades y herramientas que el pensamiento científico proporciona. El reto del desarrollo sustentable y la preservación de la vida en el planeta será superado solamente con el concurso de una mejor ciencia y tecnología.

2. La educación en ciencia y tecnología puede propiciar y consolidar el desarrollo de capacidades y competencias humanas para construir la sociedad del conocimiento.

En lo cultural, la educación científica y tecnológica puede contribuir a la formación de ciudadanos libres, críticos, deliberantes, creativos y emprendedores. En la sociedad del conocimiento cada individuo y cada organización deben construir su propia capacidad de acción, a través de procesos sistemáticos de adquisición y desarrollo de conocimiento. Todo esto tiene por fuerza que enmarcarse en un clima de justicia y equidad en cuanto a derechos y responsabilidades. El capital humano es el más valioso bien de una sociedad. Las diferencias competitivas entre regiones económicas, ya no se enmarcan en el ámbito de los recursos naturales, sino en ese capital humano que es consecuencia de programas de inversión y desarrollo educativo que la propia sociedad prioriza.

3. La promoción y control de la ciencia y la tecnología debe contar con la participación activa y coordinada de todos los sectores sociales.

La creación y organización de canales de comunicación eficientes exige la voluntad de los actores involucrados en los procesos de generación, comprensión, validación y uso del conocimiento. Esto, a su vez, permite a los actores organizarse de tal forma que puedan contribuir a procesos de aprendizaje social. En la sociedad del conocimiento no hay productores y consumidores de ciencia y tecnología, sino entes sinérgicos, sistémicos y autocontrolados que regulan su generación uso o limitación. Estas nuevas habilidades sociales no surgirán de forma espontánea y tendrán que ser enseñadas y desarrolladas.

4. El desarrollo de la ciencia y la tecnología autóctonos deberán orientarse de lo particular inmediato a lo general mediato, priorizando la comprensión, prevención y solución de problemas locales y dinamizando el desarrollo de las comunidades.

Los menguados recursos deberán emplearse en el aquí y el ahora. La orientación irresponsable de las estrategias científicas en los países en desarrollo no sólo es irracional, sino criminal.

5. Ciencia - Tecnología - Sociedad - Ambiente conforman un polinomio cuya interacción exige nuevas responsabilidades compartidas a cada comunidad y cada ciudadano. El uso de tecnologías inadecuadas o su empleo irresponsable han tenido consecuencias harto evidentes en las últimas décadas. Las relaciones entre democracia y sociedad tendrán que pasar por un criterio del ciudadano con razón de causa y libertad de opinión para dirimir sobre tópicos científico - tecnológicos.

1.2.6 Ciencia, tecnología, sociedad... y política.

Sesenta años lleva clamando Estados Unidos por aquellas habilidades que la educación debe llevar a su mano de obra y a la ciudadanía toda. En la literatura en inglés suele hablarse repetidamente de estas habilidades como “STEM skills” aduciendo al acrónimo de “Science, Technology, Engineering, and Mathematics”, (Habilidades en Ciencia, Tecnología, Ingeniería, y Matemáticas). Por curiosidades

del idioma, o por sagaz intención, STEM significa tallo, pedúnculo, lo que soporta y sostiene. Al margen de enfoques neopositivistas, sin lugar a dudas el futuro de la humanidad se vincula radicalmente con estas habilidades.

El 27 de abril de 2009, el presidente Obama retomaba la intención de Eisenhower en 1959 (véase el capítulo 4 de esta Tesis) por promover la enseñanza de la matemática y la ciencia:

"Hace medio siglo, esta nación hizo el compromiso de liderar el mundo en la innovación científica y tecnológica; invertir dinero en educación, en investigación, en ingeniería; proponerse la meta de alcanzar el espacio y comprometer a cada ciudadano en aquella misión histórica. Fue el punto más alto en cuanto a la inversión del país en investigación y desarrollo. Y desde entonces, el porcentaje de nuestra renta nacional que invertimos en este rubro ha ido disminuyendo regularmente. Como resultado, otros países comienzan ahora a encabezar la búsqueda de los grandes descubrimientos de esta generación.

No creo que nuestro carácter, el carácter americano, sea ese. Nuestro carácter es el de liderar. Y éste es el tiempo para liderar otra vez. Por eso hoy estoy aquí para plantear el siguiente objetivo: dedicaremos más del tres por ciento de nuestro PIB a la investigación y el desarrollo. No sólo igualaremos, sino que excederemos el nivel alcanzado en la carrera espacial, a través de políticas que inviertan en la investigación básica y aplicada, creando nuevos incentivos para la innovación privada, promoviendo nuevas brechas en energía y medicina, y mejorando la educación en matemáticas y ciencia. Esto representa el compromiso más grande con la investigación científica y la innovación en la historia americana.

... puesto que sabemos que el progreso y la prosperidad de las futuras generaciones dependerán de lo que hagamos ahora para educar la siguiente generación, hoy anuncio el compromiso renovado con la educación en matemáticas y ciencia. Esto es algo que me preocupa profundamente.

A través de este compromiso, durante la próxima década los estudiantes norteamericanos se moverán del medio a la cima de la ciencia y las

matemáticas, ya que sabemos que la nación que hoy educamos será la que mañana compita por nosotros. Y no pretendo prescindir de esta educación"¹⁴

Si la intención va más allá del proselitismo y la demagogia que caracteriza a los políticos, si este compromiso es cumplido, bueno sería tener veinte presidentes latinoamericanos que compartieran el compromiso del presidente Obama.

1.2.7 ¿Dónde Estamos? Entre temores y esperanzas.

Cuando miramos hacia el futuro, vemos numerosas incertidumbres sobre lo que será el mundo de nuestros hijos, de nuestros nietos y de los hijos de nuestros nietos. Pero al menos, de algo podemos estar seguros: si queremos que la Tierra pueda satisfacer las necesidades de los seres humanos que la habitan, entonces la sociedad humana deberá transformarse.

Edgar Morin

Durante cuatro días de Agosto del 2008, el Ministerio de Educación de Guatemala y la Red Interagencial de Educación – con la participación de diversos actores de la comunidad educativa nacional e internacional – realizó el Encuentro Nacional de Calidad Educativa con la intención de propiciar un espacio para el diálogo sobre una educación de calidad.¹⁵ El evento tuvo una visión de búsqueda, de sistematización social para promover políticas y estrategias que aportaran al mejoramiento de la calidad educativa de Guatemala sobre la base del reconocimiento de que «la niñez y la juventud guatemaltecas tienen derecho a una educación de calidad».

Los medios de comunicación fueron pocos en el seguimiento. Y tenían razones de sobra. Había noticias mucho más sensacionales, noticias que podían hacer palidecer de envidia a Steven Soderbergh, director de *Ocean's Eleven*. Carlos Ajanel,

¹⁴ Thornburg, D. (2009): Have We Hit A “Sputnik” Moment Again?
<http://www.tcse-k12.org/pages/sputnik.pdf>

¹⁵ Encuentro Nacional de Calidad Educativa. Guatemala 2008. Página del Encuentro.
<http://www.encuentrocalidadeducativa.org/programa.php>

periodista de uno de los diarios de mayor circulación, lo hacía notar de forma tajante:

“Los escandalosos actos de corrupción que de manera particular se registran en el Congreso, así como la incapacidad gubernamental para controlar la violencia y la crisis económica que nos agobia, concentran tanto nuestra atención que terminamos desatendiendo eventos importantes”¹⁶

El Evento tuvo lugar en un elegante hotel de la capital y contó con el respaldo de organismos tales como la USAID, la GTZ, la UNICEF, la UNESCO, el Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega, el Banco Mundial, la AECID y el Banco Interamericano de Desarrollo. Fue inaugurado por los Excelentísimos Embajadores de Alemania y Estados Unidos, Peter Linder y Stephen McFarland. Más de mil asistentes, la mayoría maestros y especialistas en educación, compartieron y desarrollaron criterios en cerca de treinta mesas redondas y conferencias magistrales. El último día, el 29 de Agosto, el Vicepresidente de la República Rafael Espada¹⁷, clausuraba el evento y recibía un documento contentivo de las propuestas emanadas del mismo.

En una de estas mesas, relacionada con la Transformación Curricular en la Enseñanza Primaria y Secundaria, el autor de esta Tesis tuvo la oportunidad de participar brevemente con un tema referente a los Retos y Propuestas en la Enseñanza de las Ciencias. Sobre algunas ideas básicas abordadas en ella, se expondrá a continuación. Para bien o para mal los cambios que se están presentando en el mundo, están íntimamente vinculados a la ciencia y a la tecnología, una ciencia y una tecnología en rapidísima evolución que, sin duda alguna, dejan atrás a las instituciones sociales y muy particularmente a la escuela.

¹⁶ Unda M. (26-08-2008) *Buscan mejorar calidad educativa*. Siglo 21. La cita puede verse en <http://www.sigloxxi.com/noticias/22680>

¹⁷ Méndez, C. (30-08-2008): *Compromisos con la calidad educativa*. Prensa Libre. Véase <http://www.prensalibre.com/pl/2008/agosto/30/260501.html>

Grandes amenazas, grandes retos, grandes posibilidades que se abren ante el hombre contemporáneo y que abarcan desde el calentamiento global y la generación de alimentos transgénicos, desde la exploración de nuevos mundos y el empleo de la nanotecnología hasta problemas morales asociados con la autopoiesis biológica y social... Retos y oportunidades que vienen de la mano y que pueden conducir a la erradicación del hambre y las enfermedades o a la desaparición de la vida en el planeta.

En la jornada inaugural se presentaron cuatro conferencias: la primera de la Ministra de Educación Ana Ordóñez de Molina, mostrando la Visión de Calidad Educativa contenida en las políticas de su Ministerio (2008 – 2012), la segunda de la doctora española Rosa Blanco, representante de la UNESCO, brindando una amplia panorámica del estado de la educación en Latinoamérica desde el punto de vista de la heterogeneidad social y los profundos daños que la repitencia tiene sobre la eficacia y la eficiencia del sistema; la tercera de la Dra. Sylvia Linan-Thompson de la Universidad de Texas, Estados Unidos, referida a la importancia de los primeros estadios educativos en donde lo proactivo, lo comprensivo y lo coherente permiten adecuar formatos y tiempos; y por último la conferencia del Dr. Rainer Hamel de la Universidad Autónoma Metropolitana de México en torno a sus estudios sobre la relevancia del lenguaje materno como lenguaje idóneo de la educación primaria de comunidades indígenas. He aquí una muestra de palabras comunes y reiteradas en estos mensajes:

Pluriculturalidad, Bonos, Familias, Política, Equidad, Igualdad, Operacionalización, Capacitación, Profesionalización, Supervisión, Verificación, Proactividad, Compromiso, Coherencia, Formatos, Eficacia, Eficiencia, Lengua materna, Relevancia, Financiación...

Todo inmerso, por supuesto, dentro del ámbito de la calidad. No hay, no puede haber crítica alguna a estos enfoques porque son aspectos cotidianos y medulares dentro de la visión oficial. Sin embargo llama la atención que durante las tres largas horas en que estas altas autoridades, estos grandes especialistas y representantes de la Educación en Latinoamérica, Europa y Estados Unidos, no hayan mencionado ni una sola vez, las palabras ciencia o tecnología. C. P. Snow debería reír o llorar desde su tumba viendo como “esta” cultura, en ausencia de la “otra”, dirime el concepto de

Calidad. No hay duda alguna. Ciencia y tecnología no están incluidas dentro de la primera “línea de batalla”.

Y ese es el punto. El punto básico es que necesitamos urgentemente conocer y enseñar sobre ciencia y tecnología, porque la ciencia y la tecnología, representan hoy, la gloria de la supervivencia o el horror de la posible debacle nuclear de hace medio siglo. Se requiere hablar de ciencia y de tecnología porque ninguna otra generación de formadores, de educadores, ha tenido el reto que tiene la presente. Alguien puede pensar que el mundo estaba en mayor riesgo cuando la Guerra Fría y la respuesta categórica es no; porque las personas que podían oprimir el fatídico botón rojo eran cuatro o cinco mientras que ahora cada habitante está contribuyendo a la muerte, a la desaparición de especies, cada uno está contaminando el planeta, despilfarrando sus recursos hasta un punto tal en el que las imágenes apocalípticas comienzan a tomar forma. La probabilidad de sobrevivir a la Guerra Fría era pequeña pero finita; la probabilidad de sobrevivir sin tomar medidas urgentes y sabias en cuanto al manejo adecuado de las relaciones CTSA es nula. Las verdes montañas de hoy pueden perfectamente ser dunas desérticas en el año 2061. Las atiborradas ciudades cementerios blancos.

Este puede ser el entorno que hereden los niños que hoy están en nuestras aulas. Los niños de hoy serán los ministros y presidentes, los especialistas del año 2061, un año para el cual la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia había instaurado su famoso Proyecto 2061¹⁸, un proyecto que ya urge ser remodelado, que ha de ser retomado porque los retos a los cuales se enfrentará esa generación que está siendo formada hoy día son enormes, son gigantescos y posiblemente involucren el futuro del planeta, el futuro de la vida y la civilización tal y como la conocemos.

Esa es la razón por la cual hemos estado promoviendo ampliar, los cuatro objetivos que mencionaba Jacques Delors¹⁹ en el año 1995 como propósitos básicos de la Educación, el aprender a ser, el aprender a hacer, el aprender a aprender, y el

¹⁸ AAAS (1989): *Projet 2061* <http://www.project2061.org>

¹⁹ Delors, J. (1996): *La Educación encierra un tesoro*. ISBN 84-294-4978-7 Ed. Santillana, Madrid

aprender a convivir para añadirle otro esencial para la “generación límite”: el aprender a sobrevivir. Esta postura no es pesimista, no es mesiánica ni tampoco tiene tintes de catástrofe inminente. Pero siendo desde el punto de vista prospectivo una posibilidad real que debemos valorar, para la que debemos preparar a nuestros descendientes y para la que debemos trabajar por todos los medios, resulta imperdonable no hacer mención del tetraedro CTSA en estas conferencias inaugurales.

¿Cómo va a formarse la “generación límite” si la ciencia y la tecnología no se involucran de lleno, si no puede capacitarse en los recursos que la ciencia y la tecnología ofrece hoy, si no se enseña a esta generación a reconocer los riesgos y limitaciones propios de la ciencia y la tecnología?

No se afirma que ciencia, tecnología, sociedad y ambiente sean algo perfecto, algo máximo y acabado; tampoco se explicita que pueda apostarse ciegamente por un mecanismo de inversión en investigación, desarrollo, ciencia – desarrollo. Lo que sí queda claro es que al margen de absolutismos, al margen de linealidades, al margen de determinismos, **si bien la ciencia y la tecnología solas nada pueden, sin ciencia y sin tecnología nada se puede.**

Entonces la estrategia debe ser conjugar sabiamente objetividad y subjetividad, ciencia y humanismo, necesidades y posibilidades para hacer de este factor CTSA, una unidad dialéctica para la supervivencia de la especie y la vida tal y como la conocemos. Este es un elemento que junto a los otros, habría que haber destacado. No se puede hablar de Calidad en la Educación, si se descontextualiza de la ciencia y la tecnología.

Con respecto al área propiamente didáctica de las ciencias naturales los debates transcurren más en lo filosófico confrontacional que en lo metodológico pragmático. Algunos debates de este evento transcurrieron justo en la búsqueda cartesiana de **un método** científico que conduzca inequívocamente a la Verdad Educativa. Dos ejemplos de estas dicotomías.

1- ¿Hacia donde se debe dirigir la atención, hacia la base en donde los maestros rurales intentan adecuar los pobres recursos a las características locales de la población o hacia la Universidad, “urbi et orbe”? Los partidarios del primer enfoque se apertrechan en la tradición freiriana, en esa búsqueda de las raíces y el lenguaje propio, criticando a una Universidad incapaz o renuente de aplicar el método pedagógico que la Reforma promueve; los segundos, haciendo énfasis en el carácter empírico, limitado, endogámico de un claustro cuya ignorancia no les deja percibir los tiempos de cambio y los empantana en una Reforma que no tiene de Reforma más que lo nominativo. ¿Será tan difícil percatarse de que debe irse en ambas direcciones, que si peligroso es importar corrientes y experiencias foráneas tanto igual puede serlo creerse inmune y poseedor de la verdad ancestral? Tan importante como el conocimiento de la idiosincrasia y el respeto de la lengua y la cultura, es reconocer los logros de las “otras culturas”, reconocer los éxitos que, por ejemplo, está teniendo la educación española al abordar la enseñanza desde modelaciones y estudios de casos. No se necesita reinventar el agua tibia.

2- ¿Qué priorizar, el método didáctico o las competencias a lograr, qué priorizar, la nomenclatura de estándares o los contenidos del currículo? Aunque parezcan anonadantes, estos son los temas candentes a la hora del café no tan caliente.

Tras la entelequia del método, del orden y la clasificación aristotélica se olvida aquella máxima de Highet²⁰ para el docente: saber lo que enseña, amar lo que enseña, querer a quienes enseña. Las visiones miopes que permiten un enfoque parcial del problema son, sin lugar a dudas, nuestro peor enemigo. Ningún método puede garantizar el éxito.

²⁰ Highet, G. (1950): *The Art of Teaching*. A regular review of classic, overlooked, newly relevant, or otherwise deserving older books. N. Stix
http://www.taemag.com/docLib/20030121_book.pdf

El logo del evento fue un ideograma maya que se conoce como *Noj* (en idioma Quiche).



Fig. 1 Ideograma maya Noj

Recuerda a un niño que, entre curioso y temeroso, se prepara a salir al mundo. Este símbolo que precedió todas las jornadas es un símbolo que representa la sabiduría, que representa el conocimiento, pero que representa también la fuerza telúrica removedora que se requiere para reestructurar nuestros códigos, nuestros códigos mentales, porque los verdaderos retos que acompañan la educación de la ciencia en Nuestra América hoy día son más subjetivos que objetivos. La meta es pensar y actuar científicamente, esto es, actuar de forma objetiva, flexible, independiente; y de seguro, crítica, compleja y divergente.

1.2.8 *Facta, non verba*: Tema de reflexión, propuesta para la acción.

Esta Tesis, como se ha indicado, está dirigida a los maestros, no como cuartilla directriz, sino como material de discusión, no como texto de estudio sino como acicate para la investigación. Pero sobre todas las cosas ha sido pensada como propuesta para la acción. En ella, al igual que como se hace en la ciencia natural, hemos intentado concretar en la ciencia educativa el ciclo dialéctico ...teoría-experimentación-teoría-experimentación. Lo que aquí se discute ha surgido como necesidad de la práctica docente empírica. La necesidad de esa práctica la ha

conducido hacia la teoría educativa²¹, que a su vez la ha enriquecido en cuanto a sentido y dimensión – sin restringirla a esquemas prefabricados – para volver a una práctica experimental renovada y más segura.

Los educadores latinoamericanos no deben, ni temer a la acción, ni ser temerarios en la misma. Los cambios deben partir de las condiciones iniciales del sistema sin pretender revoluciones tales como el limitarse al enfoque de una única escuela psicopedagógica, romper las barreras entre las disciplinas, abogar por un currículo libre y autoajutable o pretender que el Estado o la ayuda externa provea, para el año entrante, de los beneficios que suizos y austríacos cuentan en sus aulas. Eso es confundir utopía con irracionalidad. Una de las causas para la apatía frente a proyectos educativos como los emprendidos en esta Tesis, se apoya en la creencia de que es imposible modificar el *status quo* del sistema: Nada puede un grupo de profesores contra la inercia de una escuela atrasada y poco reconocida. Con muy escasos recursos, pero con una comunidad de educadores comprometidos los milagros pueden ocurrir. El impacto que el Concurso Científico Galileo ha logrado tener en los medios de difusión masiva, por ejemplo, (Véase el **Anexo 3**) es un claro indicio de que la sociedad está añorando este cambio.

Algo está empezando a cambiar en un país, cuando un simple evento estudiantil, año tras año logra atraer la atención de los medios de comunicación, cuando logra desplazar – en primera plana – a la Serie Mundial de las Grandes Ligas y las matanzas del talibán.

Irrespetuoso sería hablar de la Experimentación como vínculo entre Teoría y Práctica sin experimentar. Lo aquí narrado está hecho. Ha sido llevado a la práctica no por virtud del Autor, sino por decenas de profesionales que han hecho suyo el proyecto y al que han dedicado años de trabajo, por miles de jóvenes que han creído que lo importante no es la caída, sino el levantarse. Esta materialidad no pudiera haber sido concretada sin el apoyo sostenido de una dirección universitaria moderna,

²¹ N. del A. : Hacer teoría sobre la educación es algo relacionado con la práctica educativa Villarreal cita a Carr en el sentido de que no hay teoría pura en educación. La teoría debe ser práctica educativa, meditada y reflexiva.

Villarreal, B. (2009): *Acercas de la Educación*. Óscadel S.A. Guatemala.

comprometida y consciente de que ésta es *la* vía, la única vía conocida al momento para hacer y enseñar ciencia de forma significativa; una dirección universitaria que no ha recibido un dólar de subsidio o donación y que ha ajustado los cinchos en función de este proyecto. Todos ellos son los protagonistas, a ellos mi respeto y admiración.

Ha sido escrita pensando en los Ministros y Empresarios, en los Alcaldes y Rectores de cuyas decisiones, a veces muy concretas, puede derivarse un cambio perceptivo de por qué, cómo, a quién y para qué ha de enseñarse la ciencia.

Ha sido escrita pensando no en Boston, Oxford, Toronto, Osaka o Estocolmo sino en Bucaramanga, Rosario, Mérida, Guayaquil y Tegucigalpa, ese único pueblo que se extiende del Río Bravo a la Patagonia. Ha sido escrita intentando honrar a Martí, quien veía en *Nuestra América* la Patria Grande, unida por valores y cultura, separada por doctrinas e intereses. "De América soy hijo, y a ella me debo".

1.3 El problema

Toda investigación tiene que surgir de un problema cuya solución casi nunca es directa o única. Si así fuera, sería más un simple ejercicio cuyo mérito nunca trascendería lo eminentemente algorítmico. Los problemas, como las investigaciones mismas, siempre van evolucionando, desarrollándose, desdoblándose o extinguiéndose antes de su resolución. El problema de esta investigación se inscribe dentro de la enseñanza de las ciencias básicas y en particular de la física. La física es la primera de las ciencias naturales, y sobre ella se asientan la química, la biología, todas las ingenierías y todas las ciencias de la salud. No puede hablarse de Educación moderna sin que ello excluya el estudio de estos aspectos. Cómo conseguir una educación moderna, significativa y flexible es la primera de las grandes preguntas. Cómo conseguir mecanismos que permitan a esa educación moderna satisfacer las complejas competencias cognitivas, pragmáticas, gnoseológicas y sociales es la segunda. Estos son los macroproblemas que en esta Tesis se atacan desde la perspectiva muy estrecha y modesta del vínculo teoría práctica, desde esa perspectiva que tanto en la ciencia como en la escuela, recibe el nombre de experimentación.

1.4 Objetivos

Objetivos generales:

- Relacionar la epistemología, la experimentación y la enseñanza de la ciencia a través del experimento didáctico significativo.
- Proponer vías factibles para que la experimentación científica didáctica sea implementada y empleada con eficacia y eficiencia en la educación Latinoamericana.

Objetivos específicos:

- Establecer formas concretas de entender la naturaleza de la ciencia para la práctica docente.
- Intentar relacionar y complementar distintas formas de experimentación didáctica en la enseñanza de la Física.
- Verificar que, como norma, la educación en ciencias del nivel preuniversitario transcurre literalmente sin hacer uso de los recursos de la experimentación didáctica de las ciencias.
- Proponer formas en donde la unidad del mundo como objeto de estudio científico se ponga de manifiesto mediante un enfoque multidisciplinario.
- Hallar mecanismos mediante los cuales pueda implementarse una experimentación didáctica de las ciencias aún con los pobres recursos de los países de Latinoamérica.
- Promover el uso de la nueva tecnología educativa, denunciando sus sesgos y riesgos potenciales.
- Proponer vías para conseguir una experimentación didáctica de las ciencias que resulte significativa.
- Esbozar un modelo didáctico dialéctico para enseñar el papel de la experimentación en la enseñanza de la ciencia.

1.5 Hipótesis

Las hipótesis de la presente investigación para optar al título de Doctor por la Universidad Panamericana se inscriben en sostener que:

La educación de la ciencia debe recibir un tratamiento prioritario dentro del contexto latinoamericano para entender su potencialidad como agente de cambio en la escena latinoamericana, tanto en la esfera gnoseológica, como en la tecnológica-productiva, como en la democrática. Dentro de este marco se pretende afirmar que la experimentación en ciencias en la escuela, es uno de los elementos didácticos más útiles, versátil e imprescindibles. Se considera, además, que la educación en ciencias es un proceso demasiado complicado como para poder restringirse a una escuela o tendencia teórica o práctica, y que es el enfoque sistémico y complejo, el que debe

primar en el análisis y la acción. Se plantea también como hipótesis de trabajo que es factible, aún en las condiciones tan singulares y específicas de la educación latinoamericana, hallar y promover vías para una experimentación moderna y significativa.

En el estudio doctoral, se ofrecen una serie de argumentos probatorios en torno a estas hipótesis planeadas.

Capítulo 2. Metodología y fuentes.

La Tesis centra su estudio en el vínculo entre experimentación didáctica significativa de las ciencias y una forma moderna y compleja de asumir la enseñanza en Latinoamérica. La investigación es fundamentalmente una síntesis teórica y un análisis de la temática sobre Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Ciencia. Lo que se establece son formas y criterios para su relación a partir del estudio de la Teoría Educativa, donde la experimentación – como forma pedagógica para el proceso de enseñanza aprendizaje – juega un papel central en la enseñanza de la física a nivel universitario.

2.1 Los aspectos metodológicos

Variadas han sido las metodologías empleadas en las distintas fases del estudio. En los estudios basales que se presentan en el Anexo 1 “Estudio basal 2008. Percepción de estudiantes de recién ingreso de carreras de ingenierías sobre la experimentación docente en el aprendizaje de la Física Universitaria: Caso Guatemala 2008” se emplearon las técnicas más habituales en la investigación social cuantitativa que comenzaron con hipótesis sobre la representatividad de la muestra y la redacción de objetivos específicos. Este estudio experimental basal perseguía:

- 1- Explorar la preparación experimental de los alumnos de ingreso a ingeniería.
- 2- Explorar la capacidad de los estudiantes para manejar las TICs
- 3- Evaluar la reacción de estudiantes y docentes ante un primer impacto con la nueva experimentación y su tecnología.
- 4- Contrastar las diferencias perceptivas entre la experimentación real y su sustituto habitual, la llamada “experimentación virtual”.

Se prepararon instrumentos reactivos para obtener la data empírica. La encuesta presupuso que la muestra representa adecuadamente la población de interés aunque no se ha realizado ninguna prueba de validación en ese sentido.

Se desarrolló una prueba reactiva para el efecto con campos cruzados que permitieran la contrastación de las evidencias. Los resultados se alimentaron a una

base de datos en **Access** y se procesaron con el software **SPSS 16.0**.²² En el aspecto descriptivo se desarrollaron aquellos indicadores de beneficio para los objetivos específicos. Desde el punto de vista inferencial se emplearon correlaciones lineales y múltiples, pruebas Ji^2 y ANOVA según correspondieran a los intereses de la misma. En muchas otras etapas de la investigación se emplearon reactivos menos cuantitativos como las entrevistas a alumnos y docentes, los talleres de casos, las reuniones de trabajo con docentes de diferentes especialidades y las metodologías específicas de la investigación acción. Mucho ha habido de lo propuesto y hecho en esta investigación que se ha nutrido de la Teoría Educativa y la Historia de la Educación, si se permite la redundancia, pero mucho ha habido también de la metodología heurística simple del ensayo y el error. Este tipo de accionar en el campo de la Educación puede ser realmente riesgoso dada la naturaleza humana de aquello que es experimentado y los muy altos costos – desde el punto de vista de las instalaciones y equipamiento – en que las administraciones tienen que incurrir.

2.2 Las fuentes

2.2.1 Las fuentes de información primaria.

Años de investigación acción han sido las fuentes primarias para ir decantando las bases directrices de esta Tesis. Como se ha explicado, esta Tesis no es un ensayo a ser probado sino un recuento de algo que ya ha sido probado. La inmensa mayoría de los estudios primarios realizados tuvieron como cede la Universidad Galileo, una universidad moderna, de enfoque tecnológico, uno de cuyos mayores logros, en cuanto a lo educativo, ha estado vinculado con la formación de ingenieros de alto nivel. Las fuentes primarias para los estudios basales se encuentran en bases de datos **Access** y serán anexadas al formato digital de la versión de esta Tesis que podrá consultarse en <http://bibliotecaupana2002.blogspot.com/> o físicamente en la propia Biblioteca de la Universidad Panamericana.

²² N. del A.: Se hace referencia del Software disponible en aquel entonces SPSS 16.0 (Statistical Package for the Social Sciences) producido por SPSS Inc y posteriormente adquirido por IBM. SPSS es un programa estadístico informático muy usado en las ciencias sociales.

2.2.2 Las fuentes de información secundaria.

Con respecto a las fuentes secundarias, años de búsqueda bibliográficas han permitido respaldar la toma de decisiones en esta investigación con más de trescientas fuentes de referencia. Han de mencionarse, además, las lecturas y contenidos estudiados en los diferentes cursos de Programa de Doctorado en Educación de esta Universidad. Especial cuidado se ha puesto en la calidad de las citas a referencias teóricas originales. La inmensa mayoría se refiere a las versiones originales de los autores, bien sea en sus libros publicados o en las revistas originales. Salvo en el caso de los autores clásicos, se ha cuidado de mantener la frescura y actualidad de las fuentes restringiendo, en lo posible, las fechas de publicación a los últimos quince años del acontecer científico, filosófico, social y educativo. Buscando superar la bruma de las traducciones, todas las fuentes consultadas en su idioma original han sido traducidas con apego a la interpretación que el autor de esta Tesis ha entendido más adecuada. Cualquier problema derivado de una interpretación inadecuada es total responsabilidad del autor. Se ha evitado, en lo posible, dar referencias que conducen a una dirección de Internet, los llamados protocolos de transferencia de hipertexto <http://...>, (*Hyper Text Transfer Protocol*) usados en las transacciones de la *Web*. Esto, con el propósito de evitar disgustos al modificarse o eliminarse los *links*. Cuando por fuerza mayor se ha hecho, se han especificado y corroborados todos los enlaces a la fecha 7 de enero de 2010.

2.2.3 Las fuentes de información terciaria.

Ha habido también fuentes terciarias, las llamadas citas de citas, pero ello se ha derivado siempre de la presencia de los tres siguientes factores:

- a) Eran trabajos citados por autores cuya valía y rigor dentro de esta especialidad queda fuera de toda duda.
- b) Las referencias eran de importancia colateral con la línea básica de la Tesis.
- c) Resultaba prohibitivo el costo de adquirir los ejemplares mencionados.

En estos casos, las fuentes terciarias fueron señaladas con el rigor prescrito.

PARTE II MARCO TEÓRICO

3 La Ciencia

3.1 ¿Cómo enseñar ciencia si los científicos aún no saben qué cosa es?

...Y el relámpago ya vieron los ojos
Cuando llegan los truenos al oído;
Porque hieren más pronto los objetos
La vista que el oído, como puedes
Observando tú mismo, si te pones
A ver cortar al leñador las ramas
Superfluas de algún árbol con el hacha;
Pues le verás primero dar el golpe
Que llegue a tus orejas el sonido:
El relámpago vemos asimismo
Antes que percibamos el sonido,
Siendo uno y otro a un tiempo y siendo hijos
Del mismo choque y de la misma causa...
Lucrecio (S I ane) ²³

En el enorme poema didáctico que Titus Lucretius Carus escribió hace casi veintidós siglos se resume la epopeya del hombre por intentar explicar el mundo natural sobre bases objetivas: observación, planteamientos teóricos, confirmación, supuestos de causalidad, búsqueda de regularidades, paráfrasis de leyes naturales. Pero también cómo hacer inteligible esa realidad mediante el análisis, la síntesis y el uso de recursos pedagógicos como la simulación y la modelación, símiles didácticos que aún empleamos cuando nos alcanza el talento.

Poco queda de cierto en la explicación, científicamente hablando, pero el hilo conductor sigue siendo el mismo, la misma alegría y el mismo terror de la Condición Humana como dirían Fermi y Prigogine.

Educación en ciencias exige entender la ciencia, pero el concepto es tan múltiple, tan polisémico y elusivo que termina simplificándose – o lo que es peor – dándose por obvio o naturalmente inferible.

Ya en 1942 Merton, aunque desde perspectivas positivistas, hacía alusión a esta ambivalencia de significados cuando planteaba:

²³ Lucrecio (S I ane) ²³ “*De rerum natura*” lib VI p 250

“Ciencia es una palabra engañosamente simple – pero inclusiva – que se refiere a una serie de tópicos interrelacionados del pensamiento. Es comúnmente empleada para denotar un conjunto de:

- 1- Métodos característicos por medio de los cuales el conocimiento es certificado;
- 2- Conocimientos acumulados provenientes de la aplicación de estos métodos;
- 3- Valores culturales y normas que gobiernan las actividades calificadas como científicas;
- 4- Cualquier combinación de los anteriores.”²⁴

Más de medio siglo más tarde, no puede acotarse el concepto ni por los métodos, ni por el sistema de obtención o de confirmación, ni por el tipo relacional entre la teoría y la práctica. La astrología, la scienciología – las pseudociencias todas – siguen tan vivas como entonces. Pero es preciso enseñar ciencias.

Abordar el tema de la educación científica tendrá que ser, por tanto, una tarea de sitio, de asedio, más que de conquista directa.

3.2 Teoría y práctica

Materia y espíritu denotan dos conceptos seculares en la historia. La aparición de lo subjetivo en los homínidos superiores es difícil de precisar. El concepto de Dios tiene, según Bueno,²⁵ no más de 3000 años.

Pero esta dicotomía ha marcado el desarrollo del pensamiento moderno y, por inducción, el de la enseñanza. Sin negar la dinámica interna, lo específico de cada una de estas facetas de lo humano, ha hecho que la unicidad del mundo se vea

²⁴ Merton, R.; Sztompka, P. (1996): *On social structure and science*. Heritage of Sociology Series. The University of Chicago Press. ISBN 0-226- 52071-4.

²⁵ Bueno, G. (1995): *¿Qué es la ciencia? La respuesta de la teoría del cierre categorial*. Ciencia y Filosofía. Pentalfa, Oviedo.

relegada a una división perenne que no excluye nuestras modernas prácticas educativas. Estas prácticas bien pudieran ser producto de la serie pareada²⁶

Materia - Espíritu
Empírico – Teórico
Inductivo – Deductivo
Experimento – Disertación

Las razones son múltiples y abarcan desde la propia concepción epistemológica, la cultura fundacionalista, la economía y la eficiencia de recursos hasta la comodidad propia de los docentes.

El lápiz y el papel son más baratos que el mechero y el tubo de ensayo. La disertación permite comprimir en sesenta minutos todas las leyes de la óptica geométrica. En el mejor de los casos el currículo contempla en los cursos un laboratorio, un apéndice sin vida propia que persigue justificar, ante ojos propios y ajenos, el carácter “científico” de la educación.

Sin embargo, teoría y práctica conforman una unidad dialéctica que soporta cualquier tendencia de reducir la una a la otra: La experimentación está cargada de teoría y no hay teoría sin experimentación. Entender esta verdad exige profundizar en la epistemología y la naturaleza de la ciencia.

El desarrollo del conocimiento científico y su enseñanza es un dipolo oscilante entre la teoría y la práctica, una relación sinérgica entre lo culturalmente aceptado y la experimentación. La relación no es sencilla, ya que la clasificación de toda actividad científica en una u otra esfera es meramente formal. Las teorías científicas siempre tienen bases en la realidad objetiva observada directa o indirectamente, pero toda experimentación lleva consigo toda la metateoría que le precede.

Pero hay otro problema inherente: Los enunciados objetivos significativos provienen de experimentos, no de observaciones simples. No basta con observar

²⁶ Edgar Morin llama a esta dicotomía cartesiana el “gran paradigma de Occidente”. En la división estructural disyuntiva de una única realidad Morin haya un paradigma, y en los paradigmas, el problema clave del juego de la verdad y el error.

Morin, E. (2001): *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. ISBN: 950-602-422-7Ed. Nueva Visión. Buenos Aires.

pasivamente. La observación pasiva no conduce en general al nuevo conocimiento y es preciso intervenir, aislar y controlar variables para discernir un efecto de otro. Es a esta acción consciente, predeterminada, planificada y discriminatoria a la que llamaremos experimentación. Sin embargo, esta actitud no es ni natural ni evidente.

Chalmers añade un comentario muy curioso:

“Por muy obvio que esto pueda parecer, los filósofos de la ciencia han estudiado la naturaleza del experimento y el papel que desempeña en la ciencia sólo en aproximadamente las dos últimas décadas”²⁷

Educar en ciencias, debe llevar entonces no sólo capacidades teóricas, sino capacidades y habilidades que permitan la observación activa y la contrastación experimental desde posturas críticas y complejas. La enseñanza en ciencias es una inversión cara, y prolongada. La experimentación, que inexorablemente implica, está mediatizada por cuantiosas inversiones materiales y humanas cuyos resultados sólo son evaluables a largo plazo. La enseñanza experimental de la ciencia debe, por tanto, priorizarse.

3.3 Epistemología, Naturaleza de la Ciencia y Enseñanza de las Ciencias Naturales

“He aquí lo que me llena de perplejidad y no acierto a comprender suficientemente: ¿qué puede ser la ciencia? ¿Encontraríamos una respuesta a esta pregunta? ¿Qué contestáis vosotros? ¿Quién de entre nosotros será el primero en hablar?”

Platón²⁸

La epistemología, (del griego, ἐπιστήμη o *episteme*, “conocimiento”; λόγος o *logos*, “teoría”) como "estructura superior de las Ciencias", se encarga del qué y cómo se

²⁷ Chalmer A. (2003): *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* ISBN: 84-323-0426-3, Editores Siglo XXI, Madrid.

²⁸ Platón: *Sócrates en Teeteto*

<http://www.paginasobrefilosofia.com/html/Teeteto/Textos/texto1ªparte.html>

justifica o invalida el conocimiento y las circunstancias sociales, históricas y psicológicas que circundan su aparición. Íntimamente vinculada con la Teoría Gnoseológica por un lado, y la Filosofía de la Ciencia por el otro, permite establecer paradigmas de acción dentro del devenir científico. Desde Platón a Maturana, este conocimiento es más fruto y producto de la actividad humana que manifestación de una Supraverdad. Gnoseología, Filosofía de la ciencia y Epistemología intentan dirimir los ancestrales cuestionamientos de la humanidad en relación con el hombre y el mundo.

Pero la epistemología no es sólo cuestión de filósofos y científicos, sino que, trascendiendo el descubrimiento y validación primigenia, constituye la base fundamental para la educación toda y la científica en particular. El análisis curricular en ciencias tradicionalmente se ha enfocado en el qué, para qué y cómo enseñar las teorías científicas. Pero, más allá de estos momentos en la intervención curricular, en los últimos veinte años ha surgido, en los países desarrollados, una impetuosa necesidad de enseñar la forma en que la ciencia se construye, las vías en que se valida o falsea y el carácter humano de su creación.

Morin dice:

“El conocimiento del conocimiento que conlleva la integración del consciente en su conocimiento, debe aparecer ante la educación como un principio y una necesidad permanente”²⁹

Uno de los objetivos básicos de la reforma curricular en la enseñanza de las ciencias se dirige a promover la comprensión de las ideas sobre la ciencia y la naturaleza de la ciencia, la investigación científica y las interconexiones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA).

La urgencia no es fortuita, sino que está condicionada justamente por los poderosos imperativos en el área de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente. Estos nuevos aspectos aparecen bajo múltiples denominaciones: epistemología de la educación científica, estado de la Naturaleza de la Ciencia...

²⁹ Op. Cit.

Numerosos investigadores (Acevedo et al³⁰, Alters³¹, 1997; Vázquez et al., 2001³², 2007³³) han señalado que el abordaje de estos temas dentro de la teoría curricular, aunque supuestamente necesarios, no resultan fáciles de ejecutar por cuanto:

- a) esta epistemología constituye un metaconocimiento que surge de la propia ciencia cuando ésta es analizada no sólo por los científicos, sino también por los filósofos, los sociólogos y los educadores.
- b) los propios científicos y epistemólogos no están de acuerdo sobre cuáles deben ser las directrices del quehacer científico.
- c) no siempre quienes están preparados teórica y prácticamente, están motivados y compulsados a integrar estas visiones al ejercicio docente.

Hay un tema utilitario adicional. Si bien cada ciencia tiene su propia epistemología, no necesariamente esta sirve de sustento a una praxis educativa en la que criterios de economía y desarrollo de lo simple a lo complejo, siempre deben ser tenidos en cuenta. Savater señala:

“A veces es pedagógicamente más aceptable enseñar una materia desde teorías que ya no están totalmente vigentes para las autoridades de vanguardia pero que son más comprensibles o más estimulantes para quienes comienzan. Lo primordial es abrir el apetito cognoscitivo del alumno, no agobiarlo ni impresionarlo.”³⁴

³⁰ Acevedo, J. et al (2004): *Naturaleza de la Ciencia, Didáctica de las Ciencias, Práctica Docente y Toma de Decisiones Tecnocientíficas*. III Seminario Ibérico CTS no Ensino das Ciências; Universidade de Aveiro – 28-30 Junho 2004.
<http://www.oei.es/salactsi/acevedo21.htm>

³¹ Alters, B. (1997): *Whose nature of science?* Journal of Research in Science Teaching, 34(1).

³² Vázquez, A. et al (2001): *Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia*. Argumentos de Razón Técnica, 4, 135-176. En Sala de Lecturas CTS+I de la OEI, 2003.
<http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo20.htm>

³³ Vázquez, A. et al (2007): *Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: la comunidad tecnocientífica*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, Nº 2, 331-363 (2007)

³⁴ Savater, F. (2007): *El Valor de Educar*. ISBN 978-84-344-4469-0. Ed. Ariel, S. A. Barcelona.

Detrás de esta afirmación, totalmente valedera en la práctica docente, hay otra paradoja implícita. La enseñanza tiene sentido sí y solo sí es verdad lo que se enseña, pero al enseñar didácticamente, nos alejamos del objeto de enseñanza. Habrá que recordarle de continuo al estudiante que lo enseñado es sólo cierto parcialmente. Esto, sin caer en el relativismo tan en boga de la filosofía contemporánea. Tales preceptos de la Naturaleza de la Ciencia, en raras ocasiones afloran en el currículo tradicional latinoamericano, y aun son menos frecuentes en la enseñanza experimental.

Es claro entonces que, a la par de qué, para qué y el cómo, la educación científica requiere de esta Naturaleza de la Ciencia para establecer qué entender como visión científica del mundo. Norman G. Lederman, es uno de los investigadores que desde hace más de dos décadas ha encabezado esta búsqueda entre la Ciencia y la Enseñanza. Lederman et al³⁵ han desarrollado programas dirigidos en lo fundamental a la preparación de los profesores. Estos programas pretenden conseguir “el involucramiento de los estudiantes en actividades, valores y asunciones inherentes a la creación del conocimiento científico dentro de la comunidad científica, y comparar la ciencia con otras formas de conocer”. En esta misma fuente se refiere la Naturaleza de la Ciencia como rama que trata sobre “las características que distinguen la ciencia de otras formas de saber, la distinción entre ciencia básica, ciencia aplicada y tecnología, los procesos y convenciones de la ciencia como actividad profesional y normas que definan cuándo una evidencia es aceptable y cuándo una explicación es científica”.

Lederman también aparece asociado con el notable esfuerzo educativo que la American Association for the Advancement of Science (AAAS 1990³⁶, AAAS

³⁵ Lederman, N. et al (2000): *Standard for Education of Science Teachers: The Nature of Science* 2000; <https://www.msu.edu/~dugganha/NOS.htm>

³⁶ AAAS, AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. (1990): *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.

1993³⁷) ha realizado con el propósito de esclarecer estos fundamentos en la práctica pedagógica y que han cristalizado en el *Proyecto 2061* (AAAS 1989³⁸).

El número del proyecto representa tanto una necesidad prospectiva como un enfoque centrado en la generación límite. Como alegoría de la próxima visita del cometa Haley, 2061 puede ser un año aclamado por una nueva Estrella de Belén o estigmatizado como precursor de desastres planetarios. Los especialistas en ciencia y tecnología, los políticos y sociólogos, los presidentes y ministros de esa época ya están en nuestras aulas.

En 2007 Abell y Lederman³⁹ editaron una importante recopilación de las principales tendencias en la educación científica contemporánea. Si bien la Naturaleza de la Ciencia como herramienta didáctica cuenta con una data muy antigua –Jenkins⁴⁰ menciona un caso del año 1845 – la necesidad de considerarla dentro de la reforma curricular es un tema contemporáneo en el que Lederman⁴¹ ha jugado un papel relevante. La extensión universal sobre esta preocupación no deja lugar a dudas sobre su consenso en países tales como Estados Unidos, Reino Unido, Australia, Canadá y Sudáfrica. En general se afirma que la comprensión de la Naturaleza de la Ciencia es necesaria para:

- 1) mejorar la comprensión de la ciencia y la manipulación de la tecnología en la vida cotidiana.
- 2) sustentar la toma de decisiones en temas vinculados a cuestiones socio-científicas,
- 3) apreciar los valores culturales de la ciencia,

³⁷ AAAS AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1993): *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.

³⁸ AAAS (1989): *Projet 2061* <http://www.project2061.org>

³⁹ Abell, S.; Lederman, N. (Editors) (2007): *Handbook of research on science education*. ISBN: 0805847146 Publisher: Lawrence Erlbaum Associates. London.

⁴⁰ Jenkins, E. (1996): *The "nature of science" as a curriculum component*. *Journal of Curriculum Studies*, 28, 137-150.

⁴¹ Lederman, N. (2007): *Nature of Science: Past, Present, and Future*. En Abell S.K. & Lederman N.G. (Editors), *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum Associates. London.

- 4) ayudar al desarrollo de la moral y
- 5) facilitar el aprendizaje relacionados con la materia objeto de la ciencia.

Entender cómo se hace la ciencia, cómo se valida, cómo se invalida, cuáles son los supuestos ontológicos, gnoseológicos y de regularidad que la fundamentan es tema que aborda la Filosofía de la Ciencia; una rama que, de por sí ya abstrusa, ha entrado en un período de revolución kuhniana desde comienzo del siglo pasado con la llamada “crisis de los físicos”.

Puesto que cada una de las ciencias presenta su propio movimiento, su propia particularidad, por ciencia se entenderá, en lo adelante, las **Ciencias Naturales** y en particular las **Ciencias Físicas**.

Dada la virtuosa ineptitud humana para la unanimidad, más que prescribir acepciones, resultará provechoso concentrarse en la urgencia pedagógica de educar personas con formación científica. En un clásico giro tautológico, es preciso definir la ciencia sobre la ciencia, partir de los supuestos que debieran ser lógicamente demostrados; es preciso educar sobre ciencia desde la ciencia.

En 1927 Lev Vigostky brindaba una guía metodológica y sistémica para orientarse entre las turbulentas corrientes en pugna de la psicología. En aquel entonces, el psicoanálisis, la psicología de la Gestalt, el personalismo, la reflexología de Pavlov y otras cuantas, tiraban cada una por su lado intentando monopolizar la verdad de la psicología como ciencia. Vigostky propugnaba entonces que es mejor

“...en lugar de emitir opiniones sobre opiniones, trazar el esqueleto de la ciencia general como sistema... elevar el análisis desde el nivel de una discusión crítica al nivel de una investigación básica...para entender el significado objetivo de la crisis que está teniendo lugar.”⁴²

⁴² Vygotsky, L. (1987): *The Collected Works of Vygotsky. The Historical Meaning of the Crisis in Psychology: A Methodological Investigation*; Chapter 6, Plenum Press.
<http://www.marxists.org/archive/vygotsky/works/crisis/index.htm>

Si no puede definirse la ciencia formalmente, si lexicológicamente termina en lo banal, si operacionalmente conduce a “el método”, si teóricamente resulta circular, no nos queda otra, como educadores, que recurrir a lo ostensivo. Ostensivamente aprendemos cuando niños qué son las sillas y qué son las mesas. Pero no deben esperarse milagros. Lo ostensivo, como primer y último recurso educativo, presupone una madurez, una capacidad de comprensión en el aprendizaje que ya advierte Ludwig Wittgenstein cuando analiza:

“La definición ostensiva explica el uso —el significado— de la palabra cuando ya está claro qué papel debe jugar en general la palabra en el lenguaje. Así cuando sé que otro me quiere explicar el nombre de un color, la explicación ostensiva «Esto se llama "sepia"», me ayudará a entender la palabra... Tiene uno que saber (o poder) ya algo para poder preguntar por la denominación ¿Pero qué tiene uno que saber?»⁴³

No se pretende acá hacer de lo ostensivo la solución del problema de definición – que pudiera de hecho ser inútil o imposible – sino de brindar pautas para entender el significado en el uso. Es en este sentido que se intentará a continuación hacer una síntesis de consenso, consenso de la comunidad científica, sobre los supuestos particulares que fundamentan el quehacer en la ciencia, insistiendo siempre en el propósito metodológico para su enseñanza. Caracterizar la ciencia desde sus principios es algo que han intentado figuras tales como Whitehead⁴⁴ y Bunge⁴⁵

Estos supuestos no son independientes o excluyentes, ni pueden demostrarse categóricamente. Ninguna teoría epistemológica ha sido capaz de salir airoso hasta el momento. Y hay indicios de que, si hubiera tal solución, ésta debe estar lejana.

⁴³ Wittgenstein, L. (1998): *Investigaciones filosóficas*. Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM. ISBN 84-7423-343-7. México.

⁴⁴ Whitehead, A. (1967): *The aims of Education and Other Essays*. ISBN 0 02 935180-4 The Free Press N.Y.

⁴⁵ Bunge, M. (2005): *La Ciencia. Su método y su filosofía*. ISBN: 968 390 176 X Editorial: Grupo Patria Cultural. México.

Pero su negación dejaría a la ciencia reducida a superchería mística. Agnosticismo, voluntarismo y relativismo es lo queda detrás de la tesis “*todo sirve*” de los pseudocientíficos; y escepticismo es lo queda detrás de la tesis “*todo sirve*” de Feyerabend,⁴⁶ de modo tal que se requiere, por el momento, de cierto “Acto de fe”. Es la razón por la que se emplean en este trabajo los términos principio y corolario. El autor no pretende abarcar a toda la ciencia, no pretende resolver los grandes problemas epistemológicos, sino brindar referencias operativas, puntos de análisis para una enseñanza más adecuada de la ciencia desde la perspectiva única teoría-práctica.

Un listado enumerativo parece vergonzoso, pero han de vencerse los rubores como lo hace Zabalza...

*“¡Cómo se le ocurre, a estas alturas, volver a esos planteamientos ya tan superados!, me dirán, lo sé. ¿Vale para algo una cosa así? Si eso es como volver a las enumeraciones de los rasgos de un profesor de calidad, un líder de calidad, o un buen marido. Que se sepa no se avanzó mucho con ese tipo de iniciativas. Bien, pues lo voy a hacer, pese a todo. Dije que sólo iba a reflexionar en alto. Al final... yo creo que ése es un medio aceptable, aunque provisional, para hacerlo.”*⁴⁷

Estos son los paradigmas, los supuestos magnos de la actividad científica. No son un catecismo pero exigen creer en ellos en tanto en cuanto no surjan dudas cataclísmicas sobre los mismos; no son una construcción *ad hoc* pero sin ellos no hay ciencia. Alrededor de ellos debe imbricarse la intervención pedagógica en cuanto a educación científica se refiere. Es preciso educar en ellos.

⁴⁶ Feyerabend, P.(2007): *Tratado contra el método*. Editorial TECNOS, México.

⁴⁷ En Filosofía y Sociología a veces no hay espacio para una definición fuerte y se termina por enumerar propiedades. El texto citada es de Zabalza, replicando hipotéticamente una crítica a su caracterización de Docencia de Calidad
Tomado de Zabalza M. *¿Podemos hablar de una docencia universitaria de calidad? Una propuesta de criterios para la mejora de nuestra enseñanza universitaria*. Universidad de Santiago de Compostela. Se ha respetado la grafía del texto original.
<http://www.pucmm.edu.do/RSTA/Academico/TE/Documents/iu/duc.pdf>

3.4 Algunos Principios Epistemológicos de la Física

“No hay ninguna otra especie en La Tierra que haga ciencia. Es, por mucho, una invención enteramente humana, desarrollada por selección natural en la corteza cerebral por una simple razón: funciona. No es perfecta. Puede ser mal empleada. Es sólo una herramienta. Pero por mucho, es la mejor herramienta que tenemos, autocorregible, en continua evolución, aplicable a todas las cosas... Tiene dos reglas básicas: no hay verdades sagradas: cualquier cosa inconsistente con los hechos debe ser descartada o revisada”

Carl Sagan⁴⁸

Principio Ontológico: El universo existe con independencia del ser humano y su capacidad cognoscitiva. La mente humana puede recrear de múltiples formas estas realidades, puede apreciarla sólo como reflejo, pero el humano es parte de esa realidad y no el origen de la misma. Si el mundo fuera un sueño, la educación científica carecería de sentido y los grandes debates, los grandes descubrimientos se realizarían no en el laboratorio sino en el diván del psicoanalista.

Principio Gnoseológico: El Universo es comprensible.

La ciencia presume que los eventos y procesos en el universo ocurren en patrones consistentes que se manifiestan como regularidades omnipresentes y que pueden ser dadas al hombre por medio del estudio cuidadoso y sistemático empleando el intelecto, el acervo cultural y la experimentación con instrumentos que extiendan los sentidos. Este orden presupuesto es la premisa para la búsqueda científica, para intentar describir en forma simple y comprensiva, aunque siempre imperfecta, el mundo que nos rodea y del que somos parte. Aun en las más intrincadas esferas del

⁴⁸ Sagan, C. (1980): *Cosmos*. ISBN 0-345-33135-4. First Ballantine Books Edition. New York.

saber, aun en los sistemas en no equilibrio, en el mundo microscópico y probabilístico de la mecánica cuántica, hay regularidades, hay formas de entender⁴⁹. La educación científica debe abordar estos temas de forma adecuada, mostrando lo regular y lo estocástico, pero insistiendo que aun en el caos, aun en lo enteramente probabilístico, hay regularidades. Estas regularidades son la base en la que descansa la objetividad de la ciencia, entendiendo por ella la correlación más o menos estrecha entre el conocimiento del mundo y el propio mundo, dada por y a través de la intervención experimental humana.

Principio de Especificidad: La Ciencia no es omnipotente.

Muchas preguntas no tienen solución dentro del campo de la ciencia. Aquí aparece lo trascendente, los grandes cuestionamientos filosóficos, existencialistas, religiosos, éticos... que conforman la esfera de lo espiritual de la humanidad.

Edgar Morin resume plenamente lo ineludible pero lo limitado de la ciencia cuando proclama:

“Debemos pensar que una racionalidad sencilla, totalmente lógica, que intenta eliminar las contradicciones, no puede entender los problemas y aspectos más profundos del universo. Pienso que debemos hacer un uso amplio de la razón, pero saber que la razón no puede entenderlo todo, que hay modos poéticos de entender, de vivir tanto las cosas humanas como las de la naturaleza. El conocimiento sabe que quedan muchas incertidumbres, que no podemos conocer todo en un modo exhaustivo. Por eso, debemos avanzar en el conocimiento, pero teniendo en cuenta que éste es un conocimiento modesto, y que también es complejo. Es un pensamiento que abraza

⁴⁹ N. del A.: La comprensibilidad aquí no debe verse como determinismo laplaciano, sino como sujeción a regularidades. Un sistema caótico cubrirá el estado de fase si el tiempo de evolución es suficientemente grande; si bien es imposible describir la trayectoria de un electrón, es perfectamente posible describir la función de onda del ensemble y predecir la formación de un patrón de difracción.

los datos, pero que también permite abrazar a otros y es más fraternal”⁵⁰

Pero también esa separación dualista entre humanistas y científicos que ya ha caracterizado Snow⁵¹. Por desgracia la comparación exigiría ese hombre universal que cada vez se hace más lejano en un mundo en donde la especialización lo es todo. Cada vez es menos probable encontrar un Picasso que entienda el tensor electromagnético o un científico que interprete a Dalí. Tarkovski por ejemplo, discrimina totalmente la creación científica de la artística al expresar:

“Esto quiere decir que el salto consciente en el pensamiento lógico se basa en el conocimiento de las leyes de un campo científico determinado. Y aunque parezca que el descubrimiento científico es una consecuencia de la inspiración, la inspiración del sabio nada tiene que ver con la del poeta. El nacimiento de una imagen artística – una imagen única, cerrada, creada y existente a otro nivel, a un nivel no intelectual – no puede ser explicado por medio de un proceso empírico de conocimiento con ayuda del intelecto. Sencillamente, hay que ponerse de acuerdo en la terminología”⁵²

Afirmar estas limitaciones no significa postular el relativismo filosófico que ha caracterizado los últimos decenios, porque, a pesar de las inconsistencias, una educación científica es de extraordinaria importancia para poder tomar decisiones apropiadas en cualquier esfera del acontecer humano. No se trata, entonces, de formular dicotomías irreconciliables, sino unidad en la diversidad.

La educación contemporánea tiene que tender suficientes puentes entre las dos culturas de Snow.

⁵⁰ Morin, E. (2007): *Entrevista con Édgar Morin*. Universia. Artículos de Educación Superior. <http://www.universia.net.co/docentes/articulos-de-educacion-superior/entrevista-con-edgar-morin.html>

⁵¹ Snow, C. (1993): *The Two Cultures*. Cambridge University Press.

⁵² Tarkovski, A. (1991): *El arte como ansia de lo ideal en Esculpiendo en el tiempo*, Editorial Rialp, Madrid.

Principio de Causalidad: Las categorías causa y efecto testimonian una regularidad sustentada empíricamente de múltiples formas y recogidas en las leyes generales de la Termodinámica, una teoría que Einstein consideraba la “única acabada”. El crecimiento de la entropía en sistemas cerrados y la unidireccionalidad de la flecha del tiempo respaldan no sólo la secuencia temporal sino la dependencia inferencial entre causa y efecto. La causalidad como forma temporal de Concatenación Universal se manifiesta al presentarse ineluctablemente el efecto una vez que se ha desencadenado la causa.

La dependencia de la secuencialidad amarra la causalidad al tiempo y a la segunda ley de la termodinámica. El carácter de la ley aplicable a sistemas cerrados y la probabilidad finita de macrofluctuaciones que revertieran el aumento entrópico – Terliesty⁵³ – pudieran, al parecer, hacer dudar de la universalidad de la misma. Uno de los más incisivos críticos de la visión determinista de la ciencia ha sido el Premio Nobel Ilya Prigogine,^{54 55} aun en aquellos casos – como en la Mecánica Cuántica – en donde aflora el trasfondo probabilístico. Las leyes de la Física son reversibles cada vez que el tiempo aparece involucrado en ellas. La ciencia centra su atención en un mundo en equilibrio cuando lo que impera es realmente el desequilibrio. Prigogine censura este enfoque determinista señalando como “los sistemas inestables conducen a una nueva descripción que señala el paso del determinismo hacia las probabilidades, de la reversibilidad hacia la irreversibilidad.” Desde el punto de vista epistémico seguimos obedeciendo a Aristóteles: el equilibrio, el reposo, es el estado natural.

⁵³ Terliesty, Y. (1971): *El sentido del tiempo, el principio de la causalidad y el segundo principio de la termodinámica*; en *Física Estadística*. Ediciones de Ciencia y Técnica. La Habana.

⁵⁴ Prigogine, I. y Stengers, I. (2002): *La Nueva Alianza: Metamorfosis de la Ciencia* Editorial Alianza. Madrid.

⁵⁵ Prigogine, I. (1996): *El Fin de las Certidumbres* ISBN: 956-13-1430-4 Editorial: Andrés Bello. Santiago de Chile

La causalidad ha sido sustento y tema de debate por siglos. Aristóteles⁵⁶ lo emplea en la teoría de las cuatro causas, Santo Tomás de Aquino⁵⁷ para la demostración ontológica en las cinco vías. Descartes requería de la causación como principio evidente en su Método (Merrill⁵⁸)

Es Hume en su *Tratado de la Naturaleza Humana*, quizás sin quererlo, quien asesta un golpe demoledor al Principio de Causalidad cuyo sustrato lógico epistémico nunca más ha vuelto a ser el mismo. Hume señala que detrás de la causalidad está siempre la experiencia, pero ésta es ajena al futuro, de modo tal que no hay garantía de que la próxima causa traiga consigo al efecto.

“Fuera de estas tres circunstancias, contigüidad, prioridad y conjunción constante, nada más puedo descubrir en esta causa”⁵⁹

Hume abogaba entonces por un origen empírico y nunca apriorístico. El sentido común prima a veces sobre los sofismas, de modo tal que no nos queda otra que darle, como el Dr. Johnson, la patada a la piedra⁶⁰. Pero más allá de las disquisiciones filosóficas, más allá de los cálculos probabilísticos, de las limitaciones espaciales de las leyes, en el mundo de la ciencia la causalidad es la

⁵⁶ Aristóteles: *Metafísica*. Libro primero · A · 980a-993a. Doctrina de los antiguos tocante a las causas primeras y a los principios de las cosas. Tales, Anaxímenes, &c. Principio descubierto por Anaxágoras, la Inteligencia. <http://www.filosofia.org/cla/ari/azc10058.htm>

⁵⁷ Aquino, T. (2001): *Suma Teológica I*, cuestión 12, artículo 12. ISBN: 87- 7914- 131-X Biblioteca de Autores Cristianos. Madrid.

⁵⁸ Merrill, K. (2008): *Historical Dictionary of Hume's Philosophy* P299 ISBN-13: 978-0-8108-5361-4 Scarecrow Press, Inc. USA 2008

⁵⁹ Hume, D. (1993): *An Enquiry Concerning Human Understanding* (1772). Chapter on Cause and Effect. Hackett Publ. Co. London.

⁶⁰ N. del A.: Se hace referencia al proverbial sentido común de Samuel Johnson. La anécdota cuenta cómo, después de escuchar las refutaciones del Obispo Berkeley para demostrar la inexistencia de la materia, y sin argumentos para rebatirlo, exclama: "Yo lo refuto así", mientras le da una patada a una gran piedra. Una simple patada "experimental" sirve como respuesta al empirismo idealista del Obispo. Fuente Boswell, J: *Vida de Samuel Johnson*. <http://www.samueljohnson.com/refutati.html>

herramienta cotidiana. Einstein⁶¹ se refiere a ella en términos casi religiosos: “Los científicos están poseídos por un sentido de causalidad universal”

En el contexto educativo, de la causalidad se desprenden, la capacidad de aprendizaje empírico, la posibilidad de la experimentación, la verificación y la predicción científica. Sin ella quedaría insoluta la regularidad gnoseológica, la intencionalidad y el sentido de la acción humana.

Savater señala:

“La acción es libre porque su *causa* es un sujeto *capaz* de querer, de elegir, de poner en práctica proyectos, es decir, de realizar intenciones”⁶²

Desde la perspectiva educativa, sin la causalidad, nada se podría en cuanto a propósito, ética y moral se refiere.

Corolario Inferencial: Todo conocimiento científico es, en primera instancia, inductivo.

Si bien desde el punto de vista histórico la ciencia inferencial contemporánea arranca cuando lo inductivo empirista se desarrolla en hombres como Galileo, Copérnico y Kepler, su edad dorada se desarrolla en la Escuela Británica establecida por John Locke, George Berkeley y David Hume. El increíble prestigio de Newton, consolidó en mucho esta tendencia que se extiende incólume hasta nuestros días como mecanicismo y positivismo.

Especial atención requiere la contribución hecha por John Stuart Mill en sus “cánones inductivos” donde establece un conjunto de procedimientos para ordenar la evidencia empírica e inducir conexiones entre fenómenos. Sus dos cánones más importantes son los del acuerdo y de la diferencia. En lugar de plasmarlos en la forma original planteada por Mill en “*Un sistema de lógica*” (Ferrater),

⁶¹ Einstein, A. (2006): *The World as I see it*. ISBN: 1599869659. Filiquarian Publishing, LLC. New York.

⁶² Savater, F. (2008): *Las Preguntas de la Vida*. ISBN: 9788434453630. Editorial Ariel. España.

"Si dos o más casos del fenómeno que se *investiga*, poseen solamente una circunstancia en común, la circunstancia única en la cual concuerdan es la causa (o el efecto) del fenómeno dado"⁶³

se preferirá aquí enunciarlo con una alusión probabilística más contemporánea asociada a Russell.

“De acuerdo con el canon del acuerdo, puede concluirse que una circunstancia A es (*posiblemente*) la causa de un fenómeno B cuando, a pesar de variar las circunstancias que acompañan a A en diferentes experimentos u observaciones, dicho fenómeno B tiene lugar cada vez que se produce A. Según el canon de la diferencia, puede concluirse que una circunstancia A es (*posiblemente*) la causa de un fenómeno B, o parte indispensable de su causa, cuando, manteniendo constantes el resto de las circunstancias, B deje de tener lugar si se suprime A.”⁶⁴

De estos enunciados se derivan fortalezas y debilidades. Las fortalezas estriban en que puede obtenerse conocimiento a partir de la acción humana con tal de que éstas sean muchas, consistentes ante cambios en las condiciones y no nieguen cualquier ley anterior. Constituye en esencia un salto dialéctico entre lo singular, lo particular y lo universal.

Sin embargo, este proceso de adquisición-validación no soporta el rigor epistémico. Desde Hume hasta Feyereband, pasando por la “Fábula del Pavo” de Russell, decenas de grandes pensadores han demostrado que la inferencia no puede justificarse ni mediante la lógica ni mediante la experiencia. Es, al parecer, una consecuencia directa del carácter limitante y circular de toda teoría científica, una

⁶³ Ferrater, J. (1961): *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires

⁶⁴ Russell, B. (2002): *On induction. The problem of Philosophy* (1912) En *Philosophy of Science. Contemporary reading*. ISBN 0-415-25781-6, Editado por Balashov y Rosenberg, New York.

manifestación del carácter restrictivo a lo Segundo Teorema de Gödel «Ningún sistema consistente se puede usar para demostrarse a sí mismo», o un problema de delimitación a lo “Paradoja de Russell” « ¿Es el conjunto de los conjuntos que no forman parte de ellos mismos parte de sí mismo?».

Hume fundamenta lo empírico al mismo tiempo que lo destruye. Nunca ha sido superada desde el punto de vista lógico formal, y posiblemente nunca lo sea, esta máxima devastadora de Hume que literalmente aniquila lo empírico como vía para el conocimiento. Sin embargo Himsworth arguye una segunda vía recurriendo a una lógica inversa.

Pérez Tamayo cita a Harold Himsworth, quien en 1986 intenta resolver el problema de Hume mediante un giro lógico, esto es, recurriendo a la validez primigenia de la existencia de regularidades en el universo. Himsworth – quien no es filósofo más sí un científico experimentado – se cuestiona si las proposiciones con estructura lógica impecable son necesariamente válidas, aun cuando contradigan a la experiencia. Himsworth no niega la lógica de Hume, sino su premisa: considerar que el curso de la naturaleza puede cambiar desechando la opción contraria, esto es, que el curso de la naturaleza no cambie.

“... según empecemos por la proposición de que el curso de la naturaleza puede cambiar, o por la proposición de que puede no cambiar, la lógica nos llevará inexorablemente a conclusiones diametralmente opuestas. Si optamos por la primera de estas proposiciones nos veremos obligados, como Hume, a concluir que es imposible razonar del pasado al presente y que nuestra creencia en la causalidad está equivocada. En cambio, si optamos por la segunda proposición, nos veremos inclinados con la misma fuerza a concluir que sí es posible razonar de esa manera y que nuestra creencia en causa y efecto está completamente justificada. Según la proposición de que se parta, ambas conclusiones son igualmente lógicas. Por lo tanto, es imposible decidir entre ellas en esa base”⁶⁵

⁶⁵ Pérez, R. (1998): *¿Existe el Método Científico? Historia y realidad*. COLEGIO NACIONAL Y FONDO DE CULTURA ECONÓMICA ISBN 968-16-5658-X. México.

Himsworth propone una matización que no es lógica sino experimental: La epistémica de Hume se centra en la posibilidad de que la regularidad de la naturaleza se suspenda; pero toda la evidencia experimental indica que, si bien hay fluctuaciones, si bien el mundo que nos es dado conocer es infinitamente variable y mutable, este se rige por patrones de un orden definido. Himsworth resume:

“Mi conclusión es que aunque Hume pensó que estaba determinando los límites del conocimiento humano, lo que en realidad demostró fueron las limitaciones del pensamiento abstracto, por más lógico que sea, como instrumento para avanzar el conocimiento de la realidad.”⁶⁶

Puesto que la experimentación y la inferencia van de la mano, lo que el autor de esta Tesis consideraría oportuno, en cuanto a la enseñanza de la inferencia empírica se refiere, es reformular la regla lógica inferencial estricta $p \rightarrow q$, por una regla inferencial experimental $p \rightsquigarrow q$ ⁶⁷. «Si se presenta p , entonces es muy probable que ocurra q , siempre que las condiciones sean las adecuadas». Toda inducción, toda generalización será probabilística y no certera. Pero no hay otra forma, hasta el momento, de interactuar racionalmente con la naturaleza.

Dos han sido las alternativas esbozadas en los últimos cinco siglos: no hacer nada, porque nada es seguro (agnosticismo profundo) o recurrir al humor y al sentido común⁶⁸ para seguir haciendo ciencia. Ninguna crítica ha impedido a generaciones y generaciones de científicos emplear las inferencias inductivas. Las reglas de Mill

⁶⁶ Himsworth, H. (1986): *Scientific Knowledge and Philosophic Thought*. Baltimore y Londres. The Johns Hopkins University Press., citado por Pérez Tamayo op cit

⁶⁷ N. del A.: El autor se declara no capacitado para enunciar nuevos operadores lógicos (\rightsquigarrow) o incluso el uso de lógicas polivalentes a lo Łukasiewicz. Sólo desea proponer la posibilidad simbólica de una enseñanza más ajustada a la experiencia histórica.

⁶⁸ Alan Sokal (1998) prefiere emplear "actitud racional", en lugar de "sentido común". Véase:
Sokal, A. (1998): *Entrevista*, Revista Ciencia Hoy Volumen 8 - Nº47 - Julio/Agosto 1998

o sus variantes, son la base segura de la Teoría del Control, la Defectología, la Infectología⁶⁹ y muchísimas otras ramas de la práctica científica.

La educación debe ser portadora de estas fortalezas, señalando simultáneamente, las debilidades que las acompañan.

Corolario de Repetibilidad:

Hemos aprendido por experiencia que la verdad acaba por salir a la luz. Otros experimentadores repetirán los experimentos y averiguarán si estábamos en lo cierto o no. Los fenómenos naturales serán concordantes o serán discordantes con nuestras teorías. Y aunque uno pueda alcanzar temporalmente cierta fama, no se llega a adquirir una buena reputación de científico si no se esfuerza uno en ser muy cuidadoso en este tipo de trabajo.⁷⁰

Richard Feynman

Los resultados obtenidos por un grupo de científicos deben ser replicables por otros grupos. La cultura científica se enfoca siempre en garantizar operatorias, metodologías e instrumentos que garanticen errores suficientemente pequeños como para permitir esta comprobación por repetibilidad. No hay acuerdos para garantizar la objetividad de una investigación, pero la comunicación de la sociedad científica permite una validación por consenso. Los errores de procedimiento, las tendencias partidistas o los fraudes, tarde o temprano se ponen de manifiesto: Fusión Fría de Fleischmann y Pons⁷¹, supereficiencia investigativa de Jan Hendrik Schön⁷² o la

⁶⁹ N. del A.: Robert Koch recibió un Nobel por el descubrimiento del bacilo de la tuberculosis. Pero tan importantes como la detección del patógeno para la salud de la humanidad, han sido sus Postulados para la Infectología, reglas inductivas que sirven para identificar la naturaleza de un agente.

⁷⁰ Feynman, R. (1975): *Adorar a los aviones*. Lección inaugural del curso 1975-76 en Caltech, Pasadena, California.

⁷¹ Fleischmann, M.; Pons, S. (1989): "*Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*", *Journal of Electroanalytical Chemistry* 261 (2A): 301–308,

⁷² Schön, J. H.; Ch. Kloc and B. Batlogg. (2000): *Superconductivity at 52 K in hole-doped C60*. *Nature* 408, 549-552

magnífica burla de Alan Sokal (Sokal⁷³ 1996) a los editores de Social Text, pueden servir de muestra por sólo mencionar algunas. Como Martí⁷⁴ proclamaba, “Contra la verdad, nada dura: ni contra la naturaleza”. Las causas humanas de tales comportamientos son analizadas por Shamo y Resnik⁷⁵. Castejón, por su lado, acertadamente pone de manifiesto el carácter provisorio de tales artimañas y el desarrollo indetenible de la ciencia cuando expresa:

“Y sin embargo, la ciencia avanza. Cada vez se tiene mejor conocimiento de lo que nos rodea y de sus leyes. Además del control que los editores de las revistas puedan ejercer sobre los trabajos de los investigadores, existen otras formas de control. Cuando un descubrimiento es muy impactante, van a surgir otros grupos de investigación que intentarán reproducirlo. Si hay falsedad, finalmente se descubrirá”⁷⁶

Como decía Lenin, los hechos son tercos. Copérnico intenta con los datos de Brahe probar su teoría heliocéntrica basada en los sólidos platónicos. (Sagan 1985)

“Si hubiera creído posible ignorar estos ocho minutos, ...hubiera podido acomodar mi hipótesis. Pero, como no es permisible ignorarlos, estos ocho minutos apuntan hacia una completa reforma en la astronomía”⁷⁷

Él mismo Copérnico, sin ser un dechado de virtudes, se ve obligado a aceptar la evidencia.

⁷³ Sokal, A. (1996): *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*. Social Text Spring/Summer. www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/transgress_v2/transgress_v2_singlefile.html

⁷⁴ Martí, J. (1895); *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 5, p. 195.

⁷⁵ Shamo, A.; Resnik, D.(2003): *Responsible conduct of research* ISBN 0-19-514846-0 Oxford University Press, Inc.

⁷⁶ Castejón, F. (2006): *El fraude en la ciencia*. Pensamiento Crítico. Página Abierta, 168. <http://www.pensamientocritico.org/fracas0306.html>

⁷⁷ Sagan, C.; Druyan, A. (1995): *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. The Random House Publisher Group. New York.

El caso de la confirmación de la teoría gravitacional de Einstein es digno de mencionar, no sólo en cuanto al poder de la repetibilidad, sino en cuanto a la forma que la ciencia humana se establece. William W. Campbell hace públicos los resultados de la expedición a Goldengale, en Washington, que no parecen ser concluyentes en cuanto a la desviación de la luz. Pero Eddington, como ser humano, ya había decidido entre Newton y Einstein. Eisenstaedt acota refiriéndose a Eddington:

“Su opción personal, entre tanto, ya había sido hecha antes de la realización de las observaciones: él prefería la Ley de Einstein”.⁷⁸

Tanto en el artículo final como en el *Joint Eclipse Meeting*, realizado en Londres el 6 de noviembre de 1919, Eddington y Dyson no dejaron lugar a dudas, al afirmar que los resultados obtenidos en Sobral y en la Isla Príncipe confirmaban la teoría gravitatoria de Einstein

Hay muchas dudas – y algunas evidencias – sobre la imparcialidad de Eddington para afirmar la comprobación de la teoría de Einstein, o sea, que él quería fervientemente validar la teoría. Hay también dudas sobre la consistencia experimental de la primera expedición. En 2009 Almassi⁷⁹ analiza la presentación de los resultados de Eddington ante un auditorio ciego por aceptar la teoría de Einstein. Muchos factores convirtieron a Eddington en el especialista en relatividad de modo que sus resultados no fueron cuestionados por sus contemporáneos como lo fueron en años sucesivos. Almassi resume que “atendiendo al *cómo* y al *quién* fue presentado el testimonio y al *cómo* y *por quién* fue recibido... puede establecerse que no hubo expertos en relatividad sino en astronomía observacional. Esto nos recuerda que incluso el testimonio de expertos extraordinarios no es ni ofrecido ni aceptado en un vacío epistémico completo.”

⁷⁸ Eisenstaedt, J. (1986) : *La relativité générale à l'étiage 1915-1955*, en Archive for History of Exact Sciences, vol. 35, 1986

⁷⁹ Almassi, B. (2009): *Trust in expert testimony: Eddington's 1919 eclipse expedition and the British response to general relativity*. Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies In History and Philosophy of Modern Physics Volume 40, Issue 1, January 2009, Pages 57-67 2009

Pero la Ciencia tiene un sistema de defensa: ninguna confirmación convence por si sola. Cada nueva generación intenta respaldar o refutar el paradigma que ya se ha aceptado. Tres años más tarde, en Australia, cinco equipos independientes buscaban confirmar la confirmación de Eddington. Las modernas imágenes de potentes lentes gravitacionales asociadas con cluster galácticos supermasivos, siguen dando en nuestros días, confirmación a la confirmación.

Esta sujeción a la regularidad, a la repetibilidad en la naturaleza, posee una fuerte significancia para la enseñanza en valores de la infancia y la juventud. En la Ciencia, a la larga, los hechos se imponen; en la Ciencia, a la larga, el fraude no paga.

Pero siempre hay que estar alerta. Todo humano está naturalmente propenso a ser impelido al fraude, a la alteración consciente o subconsciente en aras de conseguir lo deseado. Muy buenos ejemplos pueden ponerse de cómo la Naturaleza de la Ciencia puede intervenir sobre el desarrollo y consolidación de valores humanos.

Corolario de la Evidencia: Los enunciados científicos se validan en relación con los enunciados fácticos del fenómeno. Las pruebas deben ser cuidadosamente diseñadas de modo tal que se involucren, como señala Chalmers⁸⁰, “*no sólo hechos, sino los hechos pertinentes*”.

Estos enunciados que constituyen la “*data*” generalmente son ordenados, discriminados⁸¹, procesados, formalizados, de modo tal que puedan incorporarse a la inferencia teórica. El hecho es, pues, la sinergia de la naturaleza y la intervención.

⁸⁰ Chalmer, A. (2003): *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* ISBN: 84-323-0426-3, Editores Siglo XXI, Madrid.

⁸¹ N. del A.: A pesar de los protocolos investigativos, los artículos publicados muy raramente contemplan toda la bitácora investigativa. En esta bitácora deben aparecer descartadas infinidad de observaciones y mediciones, bien sea por criterios estadísticos $\pm 3s$, en cuyo caso se les trata como fluctuaciones, bien sea por contradecir rotundamente el paradigma imperante, o porque el investigador no la considera “representativa” asociándola a errores humanos, instrumentales, etc.

La experimentación se entiende – y se extiende – aquí, no sólo como manipulación (control de variables) sino como adecuación de la observación al hecho como ocurre, por ejemplo, en la astronomía. Si bien es cierto que no pueden manejarse cambios de variables como la variación de la masa solar al estudiar la Gravitación, la historia de la observación astronómica sugiere una preparación y cuidado de detalles de igual significancia para adecuar en tiempo y espacio el fenómeno y la observación.

Las diferencias entre la observación astronómica contemporánea y la experimentación en el laboratorio son sólo de forma en cuanto a su epistemología se refiere. Si bien ha habido algún titubeo entre la demarcación entre experimentación y observación – véase a Abbagnano⁸² – las diferencias en lo científico desaparecen porque la observación en este campo es siempre activa en cuanto a su intencionalidad. Los científicos no salen a ver si ven una estrella fugaz. La preparación de la observación, su ubicación en tiempo y espacio requiere la adecuación del observador que en laboratorio se le daría al espécimen sobre el portaobjeto. Sólo que aquí es la bacteria la que se ubica sobre la lente.⁸³ A pesar de las múltiples observaciones astronómicas hechas desde tiempos inmemoriales, la

⁸² Abbagnano, N. (2007): *Diccionario de Filosofía*. Editorial: Fondo de Cultura Económica. ISBN: 9681656296. México.

⁸³ N. del A.: Eddington comenzó a prepararse mucho tiempo antes del 29 de mayo de 1919, tuvo que atravesar medio mundo hasta la isla de Príncipe en la costa occidental de África y cruzar los dedos para que dejara de llover... Hay otra forma interesante de plantear el problema más allá de la observación: Eddington colocó una estrella entre un satélite y la constelación de Hyades.

Times Higher Educational Supplement http://www.simonsingh.net/1919_Eclipse.html

La exploración astronómica tiende a la experimentación. La misión “Deep Impact” de la NASA para estudiar la naturaleza del cometa Tempel 1 en Julio del 2005 literalmente derrumba estas fronteras: hay interacción, no sólo observación.

Por cierto, el sitio de la Nasa emplea con toda propiedad el termino “experiment”.

NASA (2005): *Making a Deep Impact*. <http://solarsystem.nasa.gov/deepimpact/mission/factsheet-postencounter.pdf>

Hay diferencias profundas entre la observación casual y la observación activa. Ya en 1923 John Dewey (Dewey op cit 1967) lo aclaraba: “Se disponen los aparatos; posiblemente se organiza una expedición a alguna parte lejana del globo. En todo caso, se adoptan algunas medidas activas que cambian realmente *algunas* condiciones físicas”. El resaltado es de Dewey.

experiencia de Eddington es la que inicia una nueva era en donde el experimento abandona la Tierra. Crease sintetiza la idea de la siguiente manera:

“Estas observaciones astronómicas... de la medición de la curvatura de la luz estelar por Eddington..., convirtieron todo el sistema solar – e incluso la galaxia y más allá – en un vasto campo para el experimento.”⁸⁴

Hay otros muchos casos de observación que – no cumpliendo con los cánones, aun siendo aproximados – ponen de manifiesto la intencionalidad y la prestancia del humano para aprovechar un hecho único. Es un ejemplo antonomástico el experimento de Enrico Fermi⁸⁵ con los papelitos en la explosión del Trinity. Mientras todos los presentes se admiraban por la pirotecnia, Fermi libera los papelitos justo cuando la onda de choque de la primera explosión nuclear llegaba a él, con el único propósito de estimar la potencia del artefacto. Sencillamente genial. La conclusión es que no somos carroñeros, sino depredadores al acecho.⁸⁶

Sin embargo la evidencia fenomenológica no puede garantizar la absoluta veracidad de una hipótesis. En el llamado argumento de la infradeterminación se establece que, dada cualquier teoría propuesta para explicar un fenómeno o cuerpo de evidencia dado, hay al menos una teoría alternativa que es empíricamente equivalente respecto a la primera pero que constituye una explicación diferente del fenómeno en cuestión. De lo anterior se desprende que toda nueva elección teórica es infradeterminada sea cual sea la evidencia disponible. Estas infradeterminaciones

⁸⁴ Crease, R. (2002): *The most beautiful experiment*. Physics World. Sep 1, 2002

⁸⁵ Fermi, E. (1945): *My Observations During the Explosion at Trinity on July 16, 1945*
<http://www2.vo.lu/homepages/geko/atom/report.htm>

⁸⁶ N. del A.: Una breve digresión, pero siempre en el contexto epistémico educativo. Sería oportuno recordar los famosos “Problemas de Fermi” – en realidad cálculos de estimación con muy poca información – que han sido relegados por los educadores en estos tiempos de sensores y ordenadores, y son cada vez menos empleados en la enseñanza de las ciencias a pesar de su fuerte poder para desarrollar la observación, el análisis y las técnicas para llegar a conclusiones. Si se pregunta *cuántos afinadores de piano hay en Chicago*, la búsqueda comenzaría en nuestros tiempos por las bases de datos de la Alcaldía, por las Páginas Amarillas de la guía telefónica y nunca por el análisis de la evidencia que el día a día aportan.

ocurren generalmente en la frontera de la ciencia pues es allí donde la flexibilidad interpretativa puede escindir el curso de la interpretación y la acción. Un ejemplo actual pudiera ser el debate en torno a las causas del calentamiento global, bien sea por la incidencia humana, cambios naturales o una conjunción de estos factores.

A la par de la crítica asociada a la infradeterminación aparece la *tesis de Duhem-Quine*⁸⁷. No se puede falsar de manera concluyente una teoría porque no se puede excluir la posibilidad de que lo responsable de la predicción errónea sea parte de la compleja situación de comprobación, y no la teoría sometida a prueba.

Desde el mismo Quine llega un paliativo metodológico para mitigar la infradeterminación (Colombo):

“De allí que haya que recurrir a un conjunto de pruebas, a la convalidación “cruzada” a través de múltiples experimentos independientes. Sólo de ese modo se hace posible que la teoría se afirme y sea aceptada”⁸⁸

La posibilidad de desviar la falsación de una teoría hacia de una de sus premisas o teorías acompañantes es una dura crítica hacia el falsacionismo popperiano. El falsacionismo, vinculado a la figura de Karl Popper, es una de las corrientes epistémicas de mayor relevancia del pasado siglo. Popper dedicó más de medio siglo a estudiar los problemas de validación científica.

En “La lógica de la investigación científica”, Popper (1973⁸⁹) presenta como criterio de demarcación evolutivo de las teorías científicas, NO la confirmación de las leyes, sino su falsación experimental. El científico lleva la crítica cartesiana al extremo y continuamente intenta refutar las teorías aceptadas reduciendo paulatinamente su número. De acuerdo con esta nueva interpretación, la labor del científico consiste principalmente en criticar leyes y principios de la naturaleza para

⁸⁷ Afriat, A. (2008): Duhem, *Quine and the other dogma* PhilSci Archive. Philosophy of Science. <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00003967/01/DuhemQuine.pdf>

⁸⁸ Colombo, L. (2000): *Incidencias en las concepciones posmodernas en la enseñanza de las ciencias. Visiones de científicos destacados de las historia*. II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Córdoba. Argentina. <http://www.oei.es/ctsi8.htm>

⁸⁹ Popper, K. R. (1973): *La lógica de la investigación científica* Editorial: Tecnos, Madrid.

reducir así el número de las teorías compatibles con las observaciones experimentales de las que se dispone.

Según Popper, el conocimiento científico no avanza confirmando nuevas leyes, sino descartando leyes que contradicen la experiencia. A este descarte Popper (Popper 1983⁹⁰) lo llama falsación. A toda proposición que no pueda ser falsada se le excluye como proposición científica. De este modo, sólo se admitirán como proposiciones científicas aquellas para las que sea conceptualmente posible un experimento o una observación que las contradiga. Así, dentro de la ciencia, queda por ejemplo la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica y, fuera de ella, el marxismo o el psicoanálisis. En resumen, una vía para explicar el desarrollo que funciona por eliminación de la teoría más que por su aceptación. Como toda teoría, el falsacionismo popperiano es incapaz de explicar algunos eventos muy singulares en el desarrollo de la ciencia. La falsación de la mecánica newtoniana por la precesión del perihelio de Mercurio no hizo que los científicos descartaran la dinámica gravitatoria ortodoxa. Pero más allá de sus limitaciones epistemológicas, Popper posee un valor educativo muy singular al promover la importancia del error como metodología de aprendizaje.

Sin importar los problemas de incompletitud, y recurriendo al principio induccionista, lo que sí se puede aseverar de forma concluyente es que, hasta la fecha, toda teoría aceptada por la comunidad científica ha tenido que pasar la prueba de la evidencia experimental. El bosón de Higgs, una partícula que pudiera explicar la esencia de la masa y poner en evidencia las partículas supersimétricas que componen la materia negra, lleva medio siglo sobre el escritorio de los teóricos, pero ha resultado tan útil como elusiva. El Gran Colisionador de Hadrones del CERN pretende demostrar su existencia en uno de los experimentos más costosos de

⁹⁰ Popper, K. R. (1991): *Conjeturas y refutaciones: El desarrollo del conocimiento científico* ISBN: 84-7509-146-6 Editorial Paidós. Barcelona.

la historia de la ciencia, estimado entre 10 000 y 16 000 millones de dólares⁹¹. El autor de esta Tesis tuvo la oportunidad de preguntarle a uno de los científicos teóricos involucrados en el proyecto (Quevedo⁹²), qué pasaría si la partícula no apareciera. La pregunta estaba dirigida a intentar comprender qué nuevos giros teóricos pudieran darse tras la falsación. Sorprendentemente, la respuesta inmediata y categórica fue «Habría que revisar los experimentos» demostrando cuán complejas son las relaciones de demarcación, cuán complejas son las formas en que funcionan los mecanismos de la ciencia. Los científicos son seres humanos que quieren ver lo que quieren ver.

Sin embargo la búsqueda experimental sigue siendo la única salida antes de que los teóricos canten victoria. El experimento es, pues, un elemento clave en el desarrollo científico y así debe aparecer reflejado en la educación científica.

Corolario Predictivo- Explicativo: La ciencia no sólo tiene que ser predictiva, sino explicativa.

“La potencia predictiva no es la única utilidad epistémica o virtud cognitiva relevante en la evaluación de una teoría científica. También lo es el poder

⁹¹ N. del A.: A propósito del LCH. Esta maravilla tecnológica es un magnífico caso de estudio para abordar, en el plano socioeducativo, el tema de la planificación y la financiación de la ciencia. ¿Es adecuado invertir tal cantidad de recursos humanos, temporales y materiales en una teoría tan distante de los problemas mundanos contemporáneos? ¿No sería preferible invertir más en la fusión controlada, la cura del cáncer y la preservación de los ecosistemas en riesgo?

Las respuestas no serán nunca simples. Pero la oportunidad de promover la alfabetización científica y la participación ciudadana ya son parte de la práctica educativa en muchas partes del mundo.

⁹² Quevedo, F. (2008): *Incursión en la Dimensión Desconocida: El mundo de la Física Subatómica*. CONVERCIENCIA 2008, Guatemala.
http://www.concyt.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=199

explicativo, la capacidad de dar cuenta de hechos diversos bajo un mismo marco teórico.^{93, 94}

La ciencia explica y predice, halla relaciones sutiles no manifiestas a primera vista y permite su extrapolación temporal. La ciencia es la única máquina del tiempo. De la observación de Öersted al motor de Faraday hay una larga cadena social y predictiva que se desarrolla en unos pocos años. El descubrimiento de Neptuno gracias a las predicciones de Leverrier (Adams se había adelantado al francés, pero no le hicieron caso) es el caso por antonomasia del uso de la ciencia establecida para predecir lo no evidente. La datación con radio carbono trae a la vida fósiles de millones de años mientras que la proporción plomo/uranio permite establecer cuánto más vieja es una roca selenita que otra terrestre.

La ciencia es validada por la observación pero consolidada por la predicción.

Esta consolidación por refuerzo continuo es la base de un enfoque moderno encabezado por Jon Dorling conocido como enfoque Bayesiano. Cada nueva predicción acertada, resulta en un incremento diminuto de la credibilidad de la teoría ante la comunidad científica. Queda claro que este enfoque también adolece de dificultades al exigir una probabilidad cuya naturaleza *a priori* es siempre subjetiva (Chalmers⁹⁵), y por tanto inadecuada para servir como hilo conductor del desenvolvimiento de la ciencia. Las leyes de una teoría, como los buenos vinos, se añejan. El tiempo obra a su favor y cada nuevo experimento se hace oportuno y validante. Otras se avinagran. Otras se relegan, reabsorbidas por la interacción entre las ciencias o confinadas por un cambio en la tecnología.

⁹³ Mayr, E. (1991): *Una Larga Controversia: Darwin y el Darwinismo*, Barcelona: Crítica, Citado por López et al (op cit).

⁹⁴ N. del A.: La complejidad de la Ciencia. Hay algunos que pretenden centrar, en lo observable predecible, la esencia de la Ciencia. Pero las cosas no son tan simples. Las observaciones astronómicas y la teoría geocéntrica de Ptolomeo, lograron sobrevivir hasta después de Copérnico, sencillamente porque podían predecir mejor que la teoría heliocéntrica el movimiento de los planetas interiores. Las buenas predicciones no bastan para hacer sobrevivir una teoría.

⁹⁵ Chalmer, A. (2003): *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* ISBN: 84-323-0426-3, Editores Siglo XXI, Madrid.

La predicción científica ha logrado resultados espectaculares, desde lo profundo del átomo hasta lo infinito de los cielos. La predicción científica establece razón, valor y rango. Aun en aquellos casos en donde no sea certera, su carácter autocorregible la hace cada vez más apegada a los hechos. Lo racional hace que la predicción errónea implique en sí una ganancia (Bunge⁹⁶). Esa es la principal diferencia entre la predicción científica y la profecía secular. Si en Estados Unidos de Norteamérica hay diez veces más astrólogos que astrónomos, tienen razones para preocuparse. Si en nuestros países de América Latina, horóscopos, tarot, profecías indígenas y adivinaciones sincréticas, cubren todo el espectro social, tenemos razones para preocuparnos.

El carácter predictivo - explicativo de la ciencia tiene, además, una importancia pragmática: es la base de su utilidad y su placer estético.

En este sentido Dewey opina que "... es verdad en aritmética tanto como en poesía que... es bueno apreciar las cosas por su propio valor, sencillamente como una experiencia agradable. Cada tema en alguna parte de su desarrollo debe poseer, respecto al individuo a que se dirige, una cualidad estética".

Desde el punto de vista educativo, lo predictivo – explicativo representa una de las herramientas de mayor rendimiento en el trabajo experimental resumido en sus siglas POE: Predecir, Observar, Explicar. Más adelante se volverá sobre este tema.

Principio Lingüístico:

Que retiren de nuestro espíritu todo aquello que
hemos adquirido a través del Lenguaje y de la Ciencia
¿qué nos quedaría?

Émile Durkheim⁹⁷

⁹⁶ Bunge, M. (2005): *La ciencia. Su método y su filosofía*. ISBN: 968 390 176 X Editorial: Grupo Patria Cultural, México.

⁹⁷ Durkheim, É. (1998): *Educación y Pedagogía*. ISBN: 950-03-8382-9 Ed. Losada. Buenos Aires.

La claridad y precisión de los enunciados científicos, su capacidad de ser comunicados y entendidos, dependen de su lenguaje.

El lenguaje, como sistema de señales de cualquier tipo, desempeña tanto una función comunicativa como cognoscitiva. Se comunica a través de lenguajes, se piensa siempre en lenguajes.

El primero de los lenguajes a dominar debe ser el lenguaje común, el habla que para Dewey⁹⁸ constituye ese “gran instrumento de adaptación social... que constituye la señal inequívoca de la aparición de vida mental”. Viejos dogmas aún subyacen en el subconsciente social: ¿para qué la expresión, para qué la ortografía si va a ser ingeniero? La capacidad de soñar, de recrear, de exclamar, de describir, de inferir, de ser en resumen activo frente al acto científico, comienza siempre con el lenguaje común. Las competencias básicas de comprensión y expresión, la capacidad para organizar y sintetizar de forma coherente las ideas, comienza en el lenguaje ordinario. Es preciso advertir que estas capacidades son imprescindibles en la educación de la ciencia.

El segundo de los lenguajes requeridos es el propio de cada ciencia, preciso y claramente definido. El Positivismo ordinario, que durante siglo y medio ha primado en la mayor parte de América Latina, es otra de las herencias de las que hay que deshacerse. Se sigue enseñando una “ciencia operativa” en la que la cifra prima sobre el significado. Leonor Colombo se refiere a este tema como uno de los grandes aportes que la epistemología puede hacer al currículo:

“La otra cuestión de gran transcendencia...es el otorgamiento de significados. Los conceptos son los ladrillos del conocimiento científico, la mínima entidad con significado. De su claridad y precisión de la comprensión compartida por parte de quienes los usan, dependerá en gran medida el rigor y la objetividad del marco

⁹⁸ Dewey, J. (1989): *Cómo pensamos*. ISBN: 84- 7509-514-3 Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona

teórico general al que pertenecen y la posibilidad del consenso intersubjetivo.”⁹⁹

El concepto ordinario de *trabajo* se trastoca en algo mucho más preciso al llegar a la Física, y se hace particular para el adiestrado bien sea que se asocie a un entorno u otro. Trabajo en la expansión adiabática, trabajo realizado sobre una partícula cargada por unidad de carga, trabajo sobre un dipolo magnético, trabajo de extracción electrónica para un metal: cada uno de estos condicionantes contextualiza el concepto y lo hace específico y útil. Lévy señala no sólo los procesos de síntesis presentes en todo lenguaje sino la dependencia del sentido del mensaje de la contextualización:

“Partiendo de la continuidad de los sonidos, una lengua aísla o fragmenta fonemas, una especie de primeros elementos no significantes. Las unidades significativas (palabras, frases o «letras») se presentan como secuencias de elementos desprovistos de sentido en sí mismos (los fonemas). Cada combinación de elementos tendrá un sentido diferente y los elementos tomarán un valor distinto en cada combinación... Remarquemos que las operaciones «gramaticales» de fragmentación y disposición de elementos no conciernen únicamente a la lengua, sino también a la escritura, incluidas las escrituras no alfabéticas.”¹⁰⁰

Dewey lo generaliza para cualquier discurso científico:

“Todo sistema científico está constituido por un conjunto de postulados, que son independientes uno de otro en su ideal lógico, o que no se solapan en la medida que las operaciones se realizan. La

⁹⁹ Colombo, L. (2005): *Incidencias en las concepciones posmodernas en la enseñanza de las ciencias. Visiones de científicos destacados de las historia*. II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Córdoba. Argentina. <http://www.oei.es/ctsi8.htm>

¹⁰⁰ Levy, P. (1999): *¿Qué es lo virtual?* ISBN: 84-493-0585-3. Ed. Paidós. Barcelona.

única manera en que el desarrollo del discurso puede tener lugar es mediante una combinación de estas operaciones.”¹⁰¹

Algo similar ocurre con la simbología¹⁰², la grafología y la interpretación de imágenes y percepciones de todo tipo: se concretizan en la contextualización. Bruner (1990)¹⁰³ se refiere a ello como “conocimiento esculpado, indefinible salvo en un sistema de base cultural”.

La contextualización del lenguaje propio de cada ciencia, de cada rama específica de esta ciencia, es vital para comprender, operar y comunicar ideas dentro de esa comunidad. En el artículo “Seeing and seeing as” de Russell Hanson¹⁰⁴, partiendo de la interpretación gestaliana de figuras, se aborda de forma brillante la importancia de la enseñanza de estos lenguajes simbólicos para cada rama dentro de su propia contextualización. La interpretación de una data experimental tendrá que pasar por un filtro lleno de toda la cultura, toda la teoría precedente en la que el investigador se ha desarrollado. El neófito no entenderá hasta que “no se le enseñe, de modo tal que pueda ver lo que el físico ve”.

¹⁰¹ Dewey, J. (1939): *Logic, the Theory of Inquiry*. Henry Holt and Company, Inc. New York.

¹⁰² N. del A.: Interesante es la contextualización que tiene lugar en los símbolos. Por ejemplo, a los símbolos k y \wedge se les asignan decenas de significados que cobran sentido sólo dentro del contexto. En el plano educativo de la ciencia, ocurren tres momentos o estadios singulares que generalmente no son bien atendidos en la enseñanza tradicional. El primero el paso de lo concreto objetivo a lo concreto subjetivo al pasar del conjunto de objetos al concepto de número (infancia temprana). El segundo, de lo concreto subjetivo a la variable lógica al pasar del número a la variable algebraica (adolescencia temprana). El tercero al pasar de la variable lógica a la variable contextualizada. La k adquiere sentido particular en el contexto.

¹⁰³ Bruner, J. (1990): *Acts of Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

¹⁰⁴ Russell Hanson, N. (2002): *Seeing and seeing as*. En *Philosophy of Science*. Contemporary reading. ISBN 0-415-25781-6, Editado por Balashov y Rosenberg, New York.

Pero sin lugar a dudas, el gran lenguaje de la ciencia es la Matemática.

Más allá de la semántica, más allá de la presencia permanente del lenguaje ordinario y del lenguaje específico – necesarios e imprescindibles para la ciencia, tanto como para el drama y la poesía – la matemática es el Lenguaje. Ya en fecha tan temprana como el 1267, Roger Bacon¹⁰⁵, el ilustre pensador inglés promotor de los métodos experimentales, proclamaba: “La Matemática es la puerta y la llave para las Ciencias”.

Son varias las razones; su universalidad, su carácter abstracto, su poder de síntesis, su manipulación lógica que permite el razonamiento teórico, su independencia de factores humanos, su relativa independencia de premisas fácticas si se le compara con otras disciplinas científicas vinculadas a lo que Kant llamó su carácter “analítico a priori”. Queda claro (Kemeny¹⁰⁶) que la matemática a la que se hace referencia puede ser no numérica. No todo lo que emplea matemática es ciencia, pero toda ciencia debe emplear matemática. Aunque esta afirmación resulte positivista y categórica, su sentido debe entenderse más como norma que como regla.

Subsisten sin embargo ambigüedades asociadas con la “traducción” de algunos parámetros al pasar de uno a otro lenguaje. Estas traducciones, estas deformaciones apuntan al carácter social de todo lenguaje y en especial del lenguaje de la ciencia. Núñez lo apunta de la siguiente forma:

“Pero no hay lenguaje neutro o puro, el lenguaje siempre implica consensos entre la comunidad de usuarios de ese lenguaje. Con frecuencia los lenguajes científico-naturales son más precisos y esotéricos porque intervienen intereses más homogéneos en su constitución, casi siempre el interés cognitivo de manipular y controlar la realidad.”¹⁰⁷

¹⁰⁵ Bacon, R.: (1267) *Opus Majus*
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Quotations/Bacon.html>

¹⁰⁶ Kemeny, J. G. (1959): *A Philosopher Looks at Science*, p. 3-37 Van Nostrand ISBN: 0-442-04324-4, New York.

¹⁰⁷ Núñez, J. (1999): *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. Sala de lectura CTS+I Ciencia, tecnología,

Acá no termina la importancia de lo social en la ciencia que será tratado más adelante.

Educación en la Ciencia debe partir de educar en los lenguajes. Cuando la *Association of American Universities* se ha manifestado con respecto a los requisitos que necesita un estudiante para cursar las ciencias universitarias – *Understanding University Success* – hacen explícito estos requerimientos, subrayando en especial la importancia de poseer conocimientos conceptuales básicos; saber pensar sobre y desde la ciencia, cómo hacer preguntas y resolver problemas, leer, escribir y comunicarse; y estar orientado hacia el aprendizaje¹⁰⁸. De forma especial destaca la importancia de las habilidades matemáticas.

De lo anterior se desprende la urgencia de una sólida formación en TODOS estos lenguajes y en particular del de la Matemática.

Principio de la no unicidad del Método: En realidad no hay “un” Método científico. Herencia de decenas de renacentistas, el Método se formaliza en el *Novum Organum*, de Francis Bacon en 1620. Observación, Inducción, Hipótesis, Prueba de hipótesis por experimentación y Conclusiones sobre la Tesis, resumen, al parecer, la esencia del accionar científico. En él está tácitamente la capacidad de interactuar con el mundo, de explorarlo, de percibir su esencia y de operarla a nivel subjetivo en forma de hipótesis, de volver a la realidad en busca de confirmaciones fácticas para con pragmatismo, mentalidad abierta, escepticismo y sano criticismo dar lugar al nuevo conocimiento.

La no inclusión de un Principio Metodológico tiene que ver más con el abuso filosófico, sociológico, pedagógico y hasta político que con la falta de mérito propio del Método. Desde el punto de vista de la enseñanza de la ciencia, este elemento es vital por el sesgo con que se ha manejado históricamente.

sociedad e innovación Organización de Estados Iberoamericanos.
<http://www.oei.es/salactsi/nunez06.htm>

¹⁰⁸ Schwartz, M., Hazari, Z., Sadler, P. (2008): *Divergent Views: Teacher and Professor Perceptions About Pre-College Factors That Influence College Science Success*. Science Educator, Spring 2008 Vol. 17, No. 1

La gran protesta de T. Theocharis y M. Psimopolous¹⁰⁹ en el artículo "*En dónde se ha equivocado la ciencia*", publicado en la revista *Nature* y cuya exigencia primera era la enseñanza del Método, tiene una respuesta categórica: el gran problema es que casi nunca el método se recrea en la gran ciencia.

Dos citas en cuanto al canon metodológico, desde el contexto científico, hablan como mínimo de la indiferencia cuanto no del desprecio de los científicos:

La primera es de Arthur Rosenblueth el neurofisiólogo mejicano cofundador junto a Norbert Wiener de la Cibernética:

“Aunque parezca paradójico, la mayoría de las personas que se dedican a la investigación científica y que contribuyen al desarrollo y progreso de la disciplina que cultivan, no podrían formular con precisión su concepto de lo que es la ciencia, ni fijar los propósitos que persiguen, ni detallar los métodos que emplean en sus estudios, ni justificar estos métodos”¹¹⁰

La segunda es de Sir Peter Medawar, premio Nobel de Medicina en 1960 por sus trabajos en transplantes de tejidos.

“Si el propósito de la metodología científica es prescribir o exponer un sistema de investigación o incluso, un código de práctica para el comportamiento científico, entonces los científicos lo mirarán como muy bueno para pasarlo sin él. La mayoría de los científicos no reciben instrucción en el método científico, pero aquellos que sí la han recibido se desenvuelven no mejor que aquellos que no la han tenido ¿De qué otra rama

¹⁰⁹ Theocharis, T.; Psimopolous, M. (1987): *Where Science has Gone Wrong*, Nature 329: 595-598, 1987.

¹¹⁰ Rosenblueth, A. (1988): Citado por Pérez Tamayo, Ruy: *¿Existe el Método Científico? Historia y realidad*. ISBN 968-16-5658-X Fondo de Cultura Económica. México.
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/161/html/sec_59.html

del saber puede decirse que no brinde utilidades o ventajas; que no necesite ser enseñada o, si enseñada, no necesite ser aprendida?”¹¹¹

Incluso Dewey en épocas tan tempranas como 1938 se ve obligado a reconocer filosóficamente la tozudez humana en cuanto a método cuando plantea:

“Los hombres no esperan al arribo de la teoría lógica para involucrarse en una investigación en busca de conclusiones, más que lo que esperan por las leyes contractuales para hacer promesas recíprocas.”¹¹²

Quizás la cita más emblemática del accionar de los investigadores como técnicos en su sentido primogénito (τέχνη, arte, oficio) la da Lakatos¹¹³, refiriéndose al conocimiento explícito de este su accionar, cuando afirma: “La mayoría de los científicos sabe tanto más sobre la ciencia que los peces sobre hidrodinámica”.

Los peces nadan como pueden, los científicos hacen ciencia como el problema y sus circunstancias se los permitan. Punto. Esto es un hecho. Pero este hecho no excluye la importancia de las metodologías, de los algoritmos, como tampoco reduce la importancia de la naturaleza de la ciencia para los científicos. Sólo que, para los científicos, en el momento en que están haciendo ciencia, esto no es relevante. El momento supremo se da en la Educación, no después.

Innumerables son los casos de grandes descubrimientos teóricos y experimentales en dónde el método se rompe bien sea por la secuencia o por la exclusión de alguno de sus pasos. Innumerables las denuncias que contra el uso inadecuado del Método

¹¹¹ Medawar, P. (2009): *Induction and Intuition in Scientific Thought*. Citado en *Scientific Method and Philosophy of Science*. Rohilla Shalizi C. <http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/scientific-method.html>

¹¹² Dewey, J. (1939): *Logic, the Theory of Inquiry*. Henry Holt and Company, Inc. New York.

¹¹³ Lakatos, I. (1978): *La metodología de los programas de investigación científica*. ISBN: 84-206-2349-0. Ed. Alianza Editorial, S. A., Madrid.

se hacen desde las filas contrarias o propias de la ciencia. Feyerebend¹¹⁴, desde posturas anárquicas pero aceptables en cuanto a su argumento, ejemplifica la falacia del Método.

La ciencia generalmente no arranca de una hipótesis preestablecida. En muchas ocasiones es sólo lo descriptivo, en otras sencillamente no hay hipótesis, sólo una acción movida por la curiosidad o por la necesidad de responder a un « ¿qué pasaría si hago esto? ». Travers¹¹⁵, en un libro curiosamente dedicado a la investigación educativa, pone ejemplos de este tipo de ruptura que son fácilmente entendibles. Skinner no planificó nunca su investigación con palomas, cuyo resultado se originó por una demora del Comando Militar. Faraday en la Royal Institution nunca escribió algo así como;

«H₀: los campos magnéticos variables con el tiempo engendran campos eléctricos». Mendeleev sólo llega a la Tabla *a posteriori*, en lo que ahora denominaríamos, atendiendo a los trabajos de Lonergan¹¹⁶, un *insight*. Cavendish nunca se propuso demostrar que la combustión del hidrógeno daría como resultado agua. Del fuego agua. Aún hoy sorprende ver la cara de estupor de jóvenes estudiantes de ingeniería cuando observan el agua como subproducto de una combustión.

Estas supuestas “irregularidades epistémicas” no están sólo presentes en la ciencia de la ilustración. La investigación contemporánea tiene exactamente los mismos rasgos. El trabajo de capas delgadas de Albert Fert no teorizaba sobre cómo propiciar una mayor capacidad de almacenamiento de nuestras computadoras; Joel Hildebrand no investigaba “el mal de los buzos” sino la solubilidad del Helio en los líquidos a presiones elevadas; Gertrude Elion, trabajando con purinas, no pretendía descubrir su efecto en la terapia por transplantes. El investigador mejicano Mario

¹¹⁴ Feyerebend, P. (2007): *Tratado contra el método*. Editorial TECNOS, México

¹¹⁵ Travers R. (1971): *Introducción a la Investigación Educativa*. Ed. Paidós, Buenos Aires.

¹¹⁶ Lonergan, B. (2004): *Insight. Estudio sobre la Comprensión Humana*. Ediciones Sígueme y UIA, México.

Molina nunca imaginó que la estabilidad molecular de los CFC (compuestos clorofluorocarbonados) tuviera tal incidencia perniciosa sobre la vida en el planeta. Contra la linealidad dogmática del Método, el azar ha jugado y sigue jugando un papel notorio. Un ejemplo muy bien ilustrado es el descubrimiento de la fisión nuclear¹¹⁷. La historia está llena de anécdotas y detalles sobre la participación de Leo Szilard y Albert Einstein en lo que se transformará en el Proyecto Manhattan, pero poco se difunde sobre lo enrevesado y detectivesco de este descubrimiento. Enrico Fermi y Emilio Segré, en Italia, bombardeaban núcleos con el propósito de obtener elementos transuránicos; Otto Hahn y Fritz Strassman, en Alemania, intentando replicar el experimento italiano, obtiene isótopos de Bario, algo sin sentido excepto para la sutil mente de una mujer, la judía Lise Meitner, quien tras algunos cálculos pudo interpretar la masa de ese elemento como evidencia de la fisión nuclear. Quizás sin la increíble perspicacia femenina de Lise Meitner, una mujer totalmente excluida de los experimentos alemanes – y de la meritocracia histórica –, en Nuestra América no se hablarían en la actualidad lenguas ibéricas sino germánicas.

Tal y como propugnaría la heurística positiva, seguir al pie de la letra la lógica de “El Método” invalidaría romper la lógica del paradigma. Su lógica, como cualquier otra lógica, está invalidada por sí sola para suministrar evidencia de nuevas verdades.

Algunos epistemólogos han intentado resolver estos saltos recurriendo a un “giro lógico” asociado a la existencia de dos momentos en la historia de los descubrimientos. Para ello se redefine la ciencia como método: la aceptación no se deriva de haber seguido un procedimiento seguro para la realización del descubrimiento o la formulación de la hipótesis sino del resultado de la puesta a prueba posterior a su postulación.

¹¹⁷ Georgia State University. *History of U-235 Fission*. Hyperphysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/nucene/fission.html>

Rudolf Carnap, (1936¹¹⁸, 1966¹¹⁹) y Hans Reichenbach¹²⁰, argumentarán los contextos de *descubrimiento* y de *justificación*. En el primero reina el desorden de una heurística en donde lo social y lo psicológico andan de la mano con lo experimental y lo lógico, mientras que en el segundo impera la racionalidad de la prueba de “lo descubierto”, la constatación de patrones objetivos y universales de razonamiento. Así, los contextos se convierten en subterfugios positivistas para flexibilizar el Método, intentando discriminar entre lo subjetivo de la acción científica y los supuestos objetivos de la verificación. Es en este contexto de justificación en donde supuestamente ocurriría la verdadera ciencia, una ciencia en donde la lógica deductiva hará encontrar patrones objetivos y universales de razonamiento, es decir, la principal característica distintiva de la ciencia. Sin embargo, tal división cronológica literalmente reduce el Método a una prueba *post hoc* y no de génesis o descubrimiento, válida más para entender la historia de la ciencia que a la ciencia misma.

Hay, por último, un argumento que por obvio no deja de ser completamente lógico. Supóngase que se confiere el beneficio de la duda al Método. Si esta es la vía para hallar la verdad conducente a la sabiduría, todos los grandes enigmas, las eternas preguntas, las razones metafísicas que por milenios han inspirado y agobiado a la humanidad serían resueltas con sólo seguirlo. La epistemología carecería de sentido como carecerían de sentido la educación más allá de los cinco pasos canonizados del Método. Pero la historia muestra que cada nueva teoría viene chorreando lodo y sangre por todos sus poros. No hay trenes expresos al templo de Sofía.

¹¹⁸ Carnap, R. (1936-37): *Testability and Meaning*, Philosophy of Science 3: 420- 468; 4:1-40. Citado por López Cerezo (op cit)

¹¹⁹ Carnap, R. (1966): *Philosophical Foundations of Physics*, Nueva York: Basic Books (trad. cast. en Orbis: Fundamentación lógica de la física). Citado por López Cerezo (op cit)

¹²⁰ Reinchenbach, H. (2006): *Experience and prediction: an analysis for the foundations and the structure of knowledge*. Chicago: University of Chicago, 1938. Citado por Speltini et al: *Ciência E Educação*, v. 12, n. 1, p. 1-12,

Por otro lado, Bauer¹²¹ denuncia como muchas son las áreas de conocimiento que buscando legitimidad, o persiguiendo objetividad, han tomado el nombre de ciencia recurriendo al método como validación del nombre. Menciona ramas del saber como la sociología, la psicología, o la pedagogía. Más allá de disputas estériles entre qué aceptar y qué no aceptar como ciencia, lo importante es destacar que los conceptos de validación y replicación no son aplicables en estos contextos citados en la forma en que el Método lo propugna.

Por ejemplo, todas las investigaciones latinoamericanas sobre la Sistematización de Experiencias, de innegable valor social, perfectamente pudieran inscribirse como ensayos investigativos antropológicos, más no científicos, sin que con ello perdieran un ápice de su valor.¹²²

El Método es el principal soporte de credibilidad para todas las pseudociencias. Todas ellas buscan acreditación por la titulación. La sujeción al método es perfecta en el caso de astrología, que usa observaciones tempoespaciales, formula hipótesis, hace inferencias, emplea rigurosos programas de Mecánica Celeste en busca de conjunciones y efemérides... y no pasa de ser una pseudociencia ancestral que sobrevive por la ingenuidad humana para creer en pruebas *ad hoc* más que en predicciones propiamente dichas.

No hay currículo latinoamericano que no incluya el Método Científico en sus contenidos. En contra de esta muy difundida idea curricular, tal y como se ha planteado, no hay en la ciencia un procedimiento algorítmico universal. A pesar del uso de observaciones, formulaciones de hipótesis, tipos de lógica y evidencias de

¹²¹ Bauer, H. (1994): *Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method*. ISBN 0-252-01856-7. Illini Books.

¹²² N. del A.: De la Vida Real. El autor de esta Tesis ha tenido la suerte de trabajar tanto en ambientes de investigación en las llamadas “ciencias duras” por un lado; como en las llamadas “humanistas y sociales” por el otro. Paradójicamente, es en el ámbito humanista donde saltan las chispas y se sueltan los perros si no hay una hipótesis inicial a ser verificada. Por el contrario, la hipótesis en los ambientes naturales generalmente se restringe sólo a la Teoría de Contraste, como un elemento indispensable para definir zonas de aceptación y rechazo. Claro que aquí, la hipótesis nada tiene que ver con el Método. El Positivismo está mucho más enraizado en el gremio Humanista que en el Natural.

contraste, esta estrategia no es ni lineal ni forzosamente necesaria desde el punto de vista del desarrollo cronológico. La enseñanza escolástica y mecánica de un Método, en el que de forma algorítmica seamos conducidos al éxito, es una de las denuncias que desde hace años se viene planteando en el plano educativo Gil Pérez¹²³. Enseñar el Método, como se hace, es contraproducente.

Claro que la ciencia tiene su método, pero éste no es único, y es tan voluble y falible como la Teoría y la Experimentación que intenta conducir. Enseñar esto es extraordinariamente más complejo que repetir la cuartilla del Método, y requerirá ensamblar una idea más realista de la ciencia a favor de su heurística, su lógica, su lenguaje, su inferencia, su demostración deductiva, su carácter humano y el “sentido común” de violar, de vez en vez, al sentido común. William Gordon, creador de la Teoría Sinéctica e investigador con muchas décadas dedicadas a dilucidar el mecanismo de la creación y el descubrimiento, concluye:

“Las soluciones definitivas a los problemas son racionales; el proceso de encontrarlos no lo es.”¹²⁴

Este tipo de enfoque, complejo y no determinista, es de extrema importancia como contenido cognitivo y formativo en toda enseñanza que se llame significativa. El Método es sólo otro modelo, una tendencia a alcanzar, una perspectiva filosófica más que práctica en el quehacer regular de la ciencia. No se puede encasillar la Creación en un algoritmo. Los seres humanos no somos robots.

Corolario Deductivo: La ciencia es racional. La deducción es la concretización de la racionalización, una coherencia con lo ya aceptado, con la historia completa de la humanidad. Las lógicas y sus lenguajes tienen aquí su reino. La deducción lógica es

¹²³ Gil Pérez, D. (1994): *El Currículo de Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria: ¿Áreas o disciplinas? ¡Ni lo uno ni lo otro sino todo lo contrario!* Daniel Universitat de València. *Infancia y Aprendizaje*, 65, 19-30 (1994)
http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen6/ART7_Vol6_N2.pdf

¹²⁴ Gordon, W. (1992): *Sinéctica: historia, evolución y métodos*, en G. A. Davis y J. A. Scott Editores, *Estrategias para la Creatividad*, Ed. Paidós. Buenos Aires.

una herramienta tan imprescindible como la acumulación de evidencia empírica. El método deductivo, como “conservador de verdad” siempre se requiere por encima de lo imaginativo y creativo de cualquier nueva propuesta científica. La más ilógica de las hipótesis pudiera adquirir sentido a través de esta poderosa herramienta que, sin embargo, no puede suministrar evidencia más allá de la evidencia de la premisa antecedente.

La tendencia racionalista pura establecida por Descartes¹²⁵ en su Método, “cogito ergo sum”, o el platonismo gnoseológico de Leibniz que hizo protestar a Newton¹²⁶ su “Hypotheses non fingo” – no hago hipótesis – son extrapolaciones del pasado superadas por enorme mayoría dentro de la comunidad científica.

El método deductivo cristaliza en la versión final de la Concepción Heredada de la Ciencia, un planteamiento que los filósofos de la ciencia asocian con el positivismo y neopositivismo. Las investigaciones iniciales de Carnap, Hempel y Nagel culminan con los trabajos de F. Suppe (1974). Cinco reglas de correspondencia constituyen un sistema interpretativo que pretende estructurar la ciencia como la de un sistema axiomático en el que existe una conexión deductiva desde los enunciados o leyes más generales a los más específicos.

Richard Braithwaite resume esa visión de la ciencia que toma por modelo a la matemática:

“Un sistema científico consiste en un conjunto de hipótesis que forman un sistema deductivo, es decir, dispuesto de tal modo que tomando algunas de ellas como premisas se sigan lógicamente todas las demás como conclusiones.

Podemos considerar que las proposiciones de todo sistema deductivo están colocadas en una serie de niveles, de suerte que las del nivel supremo aparecerían exclusivamente como premisas del sistema, las de nivel ínfimo sólo como conclusiones del mismo y las de los

¹²⁵ Descartes, R. (1995): *Discurso del Método* ISBN: 950-03-7834-5 Editorial Losada, Buenos Aires, Argentina.

¹²⁶ Newton, I. (1713): *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica General Scholium*. http://www.isaacnewton.ca/gen_scholium/scholium.htm

niveles intermedios serían las que pueden aparecer como conclusiones de deducciones procedentes de hipótesis de nivel más elevado y servir como premisas para deducciones que conduzcan a hipótesis de nivel inferior"¹²⁷

En este tipo de planteamiento la teoría se hiperboliza. En ocasiones aparecen citas de grandes científicos, generalmente fuera de contexto, que supuestamente refuerzan esta línea. Así Einstein plantea:

"En principio, es por completo erróneo querer basar una teoría solamente en magnitudes observables. Es la teoría la que decide lo que podemos observar"¹²⁸

En la misma línea Deming escribe:

"La predicción racional requiere de la teoría y construye el nuevo conocimiento a través de la revisión sistemática y la extensión de la teoría basada en la comparación de la predicción con la observación... Es una extensión de aplicación lo que nos permite apreciar lo inadecuado de la teoría, la necesidad de revisarla o incluso la necesidad de una nueva teoría. Nuevamente, sin teoría, no hay nada que revisar. Sin teoría, la experiencia no tiene sentido. Sin teoría, no tenemos preguntas que hacer. Por tanto, sin teoría no hay aprendizaje"¹²⁹

Sin embargo la deducción no está exenta de riesgos y problemas. Puede empezarse por señalar que hay términos relevantes en ciencia que no permiten un encasillamiento certero desde el punto de vista lógico. Por ejemplo, términos

¹²⁷ Braithwaite, R. (1953): *Scientific Explanation*, Cambridge University Press. Massachusetts.

¹²⁸ La cita atribuida a Einstein proviene de Heisenberg. Véase Hernández, M. (1994): *El Principio de Indeterminación*. Seminario «Orotava» de Historia de la Ciencia - Año IV. Islas Canarias.

¹²⁹ Deming, E. (2000): *The New Economics for Industry, Government, Education*. 2nd Edition ISBN: 0 262 5416 5. First MIT Press Edition. Cambridge, Massachusetts.

cognitivamente significativos como (frágil, soluble, denso, conductor...) no admiten una definición explícita en esta lógica.

Otro problema aparece como consecuencia de la marca de paradigma, aquello en lo que hemos crecido y dado por obvio, aquello que por *default* se acepta como indiscutible. La lógica puede convertirse de ventaja en desventaja, de herramienta en rémora. La elección de un tipo de lógica a veces detiene al mejor cerebro. Lorentz no puede negar lo ilógico de sus transformaciones, Kelvin no puede negar la certeza absoluta en el éter luminífero. Los genios gigantes se derrumban por no poder romper la lógica interna del paradigma aceptado. Todo gran salto, toda ruptura de paradigma, implica invertir lo deductivo puro.

La urdimbre entre teoría y práctica aflora de manera muy curiosa en los llamados experimentos mentales cuya base es la lógica racional. El físico y filósofo austriaco Ernest Mach lo define como “*gedankenexperimente*” o experimento mental en sus libros “La Ciencia de la Mecánica” y “Conocimiento y Error”. El experimento mental es un experimento hipotético que se desarrolla a partir de una cadena de sucesos obtenidos por métodos lógico-deductivos-inductivos. El concepto de experimento para nombrar a esta cadena de razonamientos, desde el punto de vista semántico, es sólo un giro lingüístico. Para los hombres de ciencia, en cuanto a método, es a veces la única forma de “continuar” cuando las condiciones para llevar a cabo un experimento real son prohibitivas.¹³⁰ El experimento mental ha sido empleado, de una u otra forma, desde tiempos remotos. ¿Qué son, sino experimentos mentales las paradojas de Zenón, las aporías griegas en donde el experimento mental desvirtúa la realidad concreta? Galileo lo usa, con dos planos inclinados, para negar a Aristóteles y establecer como condición de movimiento natural el movimiento rectilíneo uniforme en lugar del reposo. Es Newton el que lanza el primer satélite artificial desde su montaña. Sólo que esta montaña de 500 km de altura nunca existió.

¹³⁰ Singh, S. (2005): *Big Bang: The Origin Of The Universe*. Fourth Estate. ISBN 0-00-716220-0.

Einstein es el epítome de los experimentos mentales. Ya a la edad de dieciséis años concluye la posibilidad de falsear, bien la relatividad galileana, o bien la existencia del éter postulado por la escuela electromagnética. Con un experimento mental en el que un observador y su espejo viajan a la velocidad de la luz, y puesto que ésta es arrastrada por su medio motriz, el viajero podría saber que se está moviendo a la velocidad de la luz. De la misma forma que las paradojas de Zenón inducían una incompletitud del conocimiento (concepto de infinitesimal), la aporía de Einstein marca una singularidad epistémica que falsea al menos una de dos verdades aceptadas (relatividad galileana vs teoría del éter).

Queda claro que fue el experimento de Michelson y Morley el que acaparó todos los méritos y no las ideas febriles de un adolescente cuyo profesor, el matemático Heinrich Weber (1842-1913), clasificaba como “deliberaciones especulativas”. La Física, como ciencia fáctica, requerirá de experimentos reales, verificables y repetibles¹³¹.

Según Kühne,¹³² es nuestro viejo conocido físico danés Hans Christian Ørsted, él que, desde perspectivas neokantianas establece e interpreta el alcance del experimento mental que terminará adoptando tres niveles o jerarquías al nivel fáctico o empírico, contrafáctico o ideal y el propiamente experimental o explicativo-comprensivo:

a) los experimentos ordinarios (fácticos) sólo justificados de un modo empírico, sin una justificación “*a priori*”, atribuyéndoseles una necesidad simplemente fáctica,

¹³¹ N. del A.: Los experimentos mentales generalmente asumen la forma de paradojas que dan al traste con el paradigma científico imperante. Pero negar el paradigma no implica que el nuevo paradigma propuesto sea valedero.

La memoria es selectiva. Nos gusta pensar que el raciocinio aún es capaz de salvar al intelecto porque lo racional ha sido el estandarte de la civilización occidental. Asociado al instinto de conservación, los humanos recordamos con mayor facilidad experiencias agradables que desagradables. Quizás sea esa la razón que llevó a Thomas Bayes a intentar su prueba ontológica. Olvidamos lo que no queremos recordar. Este es el caso de muchos experimentos mentales que conducen a fracasos totales como la Rueda de Leibniz. De acuerdo con este experimento mental, no puede haber velocidad máxima límite en el universo. Vaya sorpresa que debió haberse llevado al recibir a Einstein en el paraíso.

¹³² Kühne, U. (2005): *Die Methode des Gedankenexperiments*, Suhrkamp, Frankfurt, Reseña de Ortiz de Landázuri *SIBF* Vol IX. Junio de 2007 ISSN: 1885-3617

como en el caso de Öersted al ver girar la brújula en presencia del alambre con corriente.

b) los experimentos mentales, de tipo ideal, atribuyéndoseles una mera posibilidad lógica carente aun de la correspondiente comprobación empírico-experimental.

c) los experimentos cruciales (significativos) que logran una efectiva confirmación de un determinado experimento mental, atribuyéndosele una necesidad estricta de tipo experimental y a la vez “*a priori*”, explicativa.

La mayor parte de los filósofos y algunos físicos eminentes – Pierre Duhem¹³³ entre ellos – piensan que debería prohibirse en la ciencia por su circularidad y por la incapacidad manifiesta de lo racional para resolver a solas los problemas de la naturaleza. En nuestra opinión, el único problema real del experimento mental es su nombre.

Sin embargo, el experimento mental no debe ser tratado de forma simplista, sólo como recurso intelectual, como raciocinio puro que tiene de experiencia únicamente el nombre, ya que el experimento mental tiene vínculos muy directos con la experiencia significativa. El experimento mental perfecto es el que logra, de alguna forma, concretarse en la práctica. Sea cual sea su nombre, el experimento mental tan traído y llevado, aceptado, refutado y reinterpretado por Zenón, Galileo, Newton, Öersted, Mach, Einstein, Duhem, Russell, Wittgenstein, seguirá ejerciendo un profundo efecto en la experimentación de la ciencia por una razón lógica irrefutable: Todo gran experimento crucial, *a priori*, tiene que haber sido, en algún momento, un experimento mental.

Al margen de lo científico epistémico, el experimento mental tiene un poderoso alcance desde la perspectiva educativa. El experimento mental es la puerta para la imaginación científica. ¿Qué tal si la ley de Coulomb respondiera según $1/r^3$ y no mediante $1/r^2$? ¿Habría átomos? Al formular problemas de este tipo se fortalece la visión de la propia ciencia al negarla. Son experimentos mentales como la bola de

¹³³ Stanford Encyclopedia of Philosophy (2007): *Thought Experiments*. First published Sat Dec 28, 1996; substantive revision Sun Mar 25, 2007

cañón lanzada por Galileo desde el mástil del barco en movimiento, el gato de Schrödinger, el Diablillo de Maxwell, los Gemelos de Einstein... y muchos,¹³⁴ muchos otros, los que permiten anclar los nuevos conceptos y paradigmas en el proceso de aprendizaje.

Principio de Mutabilidad: Las ideas científicas evolucionan históricamente en dependencia de las nuevas evidencias experimentales y teóricas que vayan surgiendo. Este cambio dialéctico formula que siempre habrá una nueva teoría que pueda explicar de forma más general, más acabada, las tendencias de la naturaleza.

La ciencia es un proceso de producción de conocimientos que depende tanto de hacer observaciones cuidadosas de los fenómenos como de establecer teorías que les den sentido. El cambio en el conocimiento es inevitable porque las nuevas observaciones pueden desmentir las teorías prevalecientes o porque los cambios en la teoría exigen mayor detalle en la experimentación. Sin importar qué tan bien explique una teoría un conjunto de observaciones, es siempre posible que otra se ajuste igual o mejor, o que abarque una gama más amplia de observaciones. En la ciencia es común, comprobar, mejorar y de vez en vez descartar teorías por otras más pertinentes.

No hay mejor herramienta didáctica para enseñar la dialéctica del desarrollo de la ciencia que su propia historia. Desafortunadamente no siempre lo histórico en la ciencia es aprovechado para resaltar la naturaleza de la ciencia. En ello intervienen los múltiples principios de economía humana; la economía temporal, hagamos las cosas de la manera más rápida; la economía pedagógica, hagamos las cosas de la manera más sencilla; la economía teórica, hagamos las cosas de la manera más lógica... Este esquema “optimizado” es el seguido por los libros de textos que

¹³⁴ El gato de Schrödinger, el esferoide de Einstein, el Cubo de Newton, el Barco de Galileo, la velocidad máxima de Leibniz, la caída libre de Galileo y la cadena de Stevinus son experimentos mentales clásicos que menciona Georgiou en su tesis como ejemplos por excelencia de esta forma de razonar en la que lo experimental se hace virtual.

Georgiou, A. (2005): *Thought Experiments in Physics Problem-solving On Intuition and Imagistic Simulation*. Thesis Presented for the degree of Master of Philosophy. Faculty of Education. University of Cambridge.

llevan al estudiante la noción deshumanizada de una ciencia acabada que forzosamente ha de ser asimilada en forma de receta de cocina.

Cuánta riqueza pudiera aprovecharse si, al concluir un curso de Termodinámica, se dedicaran unos minutos a debatir, desde el punto de vista epistémico, la cita sublime de P.W. Atkins sobre las cuatro leyes:

"Hay cuatro leyes. La tercera de ellas, la Segunda Ley, fue descubierta primero; la primera, la ley Cero, se formuló última; la Primera ley fue la segunda; la Tercera ley podría incluso no ser una ley en el mismo sentido que la otras. Afortunadamente, el contenido de las leyes es más sencillo que su cronología, que representa la dificultad de establecer las propiedades de los intangibles."¹³⁵

Poco queda del cacareado “método” a la luz de este párrafo tan lleno de zigzags.

Corolario de Tendencia Asintótica: no hay forma de conocer la verdad científica total y absoluta, pero la tendencia mediante aproximaciones sucesivas y asintóticas conduce, como norma, a explicaciones cada vez más generales y universales. Esta tendencia acumulativa y perfectiva ha sido criticada tanto por Kuhn como por Feyerabend.

Corolario de la Crítica: A diferencia de los cuerpos de saberes dogmáticos, la ciencia se rige por una pertinaz duda cartesiana que se basa en la imperfección y falibilidad de los humanos, la negación a mediano o largo plazo de cualquier autoridad, la negación de verdades absolutas, la aceptación de la diversidad en opinión y el debate siempre que exista evidencia confiable que respalde los planteamientos. Russell resume magníficamente este punto:

“No debemos suponer de antemano que sabemos lo que la evidencia ha de demostrar... ni debemos contentarnos con un escepticismo

¹³⁵ Atkins, P.W. (1994): *The 2nd Law: Energy, Chaos, and Form* (Scientific American Library Paperback) Ed. W. H. Freeman, August 1994. ISBN10: 0-7167-6006-1

perezoso que considera inasequible la verdad objetiva e incluyente la evidencia”¹³⁶

El pensamiento crítico es la materia prima de este proceso. La característica más singular de la ciencia es el carácter cerrado de su metodología en el sentido de su autocorregibilidad, una autocorregibilidad que se fundamenta en el tácito reconocimiento del desarrollo dialéctico del conocimiento y en la crítica continua como herramienta. La educación debe promover perennemente este pensamiento crítico, no escéptico pero tampoco dogmático, como principal herramienta para abordar el aprendizaje de la ciencia.

Principio de Consistencia: El conocimiento científico es durable.

La mayor parte del conocimiento científico, aunque relegado por el desarrollo de nuevas teorías, sigue siendo efectivo y útil siempre que se presenten las condiciones en donde fue validado. La continuidad y la estabilidad son tan características de la ciencia como lo es su transformación. Pocas son las ramas del saber que pueden exhibir tal comportamiento. Esta certeza fue la que llevó al genio de Leonardo Da Vinci a exclamar “¡Oh Señor!, gracias por no violar tus propias leyes” y a Fraden¹³⁷ comentarla de una forma exquisita: “Es reconfortante que las leyes de la naturaleza no cambien con el tiempo; es sólo nuestra apreciación de ellas la que está siendo perfeccionada”.

Corolario de Correspondencia: las teorías emergentes, científicamente corroboradas, deben contemplar como casos particulares a las viejas. Niels Bohr fue el primero en enunciarlo en el contexto de compaginar la naciente mecánica cuántica del micromundo con la mecánica clásica del macromundo.

Un enunciado formal indicaría que:

¹³⁶ Russell, B. (1998): Sobre Educación, especialmente en los años infantiles. ISBN 84-239-7448-0. Editorial Espasa Calpe. Madrid.

¹³⁷ Fraden, J. (2004): *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. ISBN 0-387-00750-4. Springer-Verlag, New York.

“Cada vez que se produce una quiebra de las concepciones científicas, las leyes fundamentales de la nueva teoría creada como resultado de esta quiebra, presentan siempre tales caracteres que en un caso extremo, si se da el adecuado valor de un cierto parámetro característico inserto en la nueva teoría, se transforman en las leyes de la vieja teoría”¹³⁸

Los ejemplos por excelencia son, la convergencia de la mecánica relativista a la mecánica clásica siempre que $\gamma \rightarrow 1$; la convergencia de la mecánica cuántica a la mecánica clásica siempre que $n \rightarrow \infty$. Salvando las concepciones positivistas, el principio de correspondencia posee una muy fuerte importancia heurística al brindar continuidad y estabilidad a la ciencia como un todo. En contra de estos enunciados, Khun y Feyerebend argumentan los problemas de inconmesurabilidad y lenguaje neutro.

Principio de Humanidad: La ciencia es un producto y una actividad esencialmente humana.

Laudan plantea:

“Las teorías científicas son construcciones del intelecto humano, sujetas a cambios, perfectibles tanto en sus conceptualizaciones cuanto en sus cánones epistemológicos, fines y valores y ontologías subyacentes.”¹³⁹

No es legado de dioses ni verdad revelada. Es sencillamente humana. Depende por tanto de lo histórico y socialmente determinado, a veces para bien y otras para mal. Es la microsociedad de científicos la que, operativamente, valida y acepta o refuta y rechaza cada nueva propuesta. Los programas CTSA persiguen ampliar este campo

¹³⁸ Rosental, M.; Iudin P. (1965): *Diccionario soviético de filosofía*. Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo 1965

¹³⁹ Laudan, L. (1987): *Relativism, Naturalism and Reticulation*. Synthese, 71. 1987

de acción hasta coberturas más amplias, pero estas propuestas requieren de un tremendo esfuerzo educativo, cívico y ético que lo antecedan.

Corolario de la Modelación: El objeto, su reflejo a través de la observación y la medición, debe sufrir una última metamorfosis: la modelación. La Ciencia como constructo humano, es siempre ciencia sobre Modelos. La modelación, la conceptualización del mundo real, tiene profundas raíces que lo vinculan con la filosofía clásica helenística en donde Sócrates y Aristóteles ya establecían el surgimiento del modelo como una generalización del razonamiento inductivo. El resultado es un ente hipotético, virtual, sintético poseedor de aquellas propiedades del ser que lo hacen único y necesario para ese estudio. La modelación como abstracción posee también la connotación del símbolo, es especial para permitir la modelación matemática.

Son ejemplos de tales, los modelos de partícula y sólido rígido, los modelos dinámicos, los modelos de fluidos ideales, los modelos de gases ideales y reales, los modelos atómicos y nucleares, los modelos de universo... Tal y como ocurre con sus teoría acompañantes, los modelos son adoptados o relegados, pero aun los que se hacen obsoletos generalmente retornan a la vida siempre que las exigencias prácticas del problema así lo permitan. La enseñanza de la ciencia no está exenta de estos usos, en ocasiones de alto riesgo. La imagen conceptual del átomo sigue siendo la del modelo mecanicista planetario, un modelo que nunca nació, que nunca fue aceptado, pero que ha perdurado por su sencillez y analogía descriptiva.

Así, los electrones siguen siendo “bolitas que rotan alrededor del núcleo” sin importar cuán grandes son los alaridos de los científicos por tal disparate.

La modelación tiene también una importancia metodológica al simular experimental o computacionalmente, sistemas cuya complejidad o riesgo excederían las posibilidades reales. Las reglas sobre modelación generalmente se inscriben en la llamada teoría de semejanza. (Franke¹⁴⁰). Esta modelación tiene serios riesgos al

¹⁴⁰ Franke. H. (1967): *Lexikon der Physik* Editorial Labor, Diccionario de Física. Barcelona.

extrapolar las diferentes naturalezas de los fenómenos estudiados. La modelación y la simulación en la enseñanza de la Física es un tema tratado más adelante en esta Tesis.

Corolario de Socialización: Los aspectos sociales de la Ciencia como institución se hacen notorias a partir de los trabajos de Merton¹⁴¹ en la década de los cuarenta del siglo XX y continúan hasta nuestros días tratando de analizar dos preguntas que, enfocándose en la ciencia, tienen profundas implicaciones en lo educativo. (Gieryn, citado por Núñez¹⁴²)

¿Qué explica el surgimiento y desarrollo de la ciencia moderna hasta llegar al sitial de prestigio de que goza? ¿Qué hace única a la ciencia entre las instituciones sociales generadoras de cultura? Más adelante se volverá sobre la respuesta a estas preguntas.

La Ciencia es, en tanto es Social. La fórmula estequiométrica de la molécula para combatir el SIDA no será nada mientras no salte del disco duro a la web. La ley de Gravitación ya estaba de alguna forma en los cuadernos de Newton, pero se hace Ciencia sólo después de los *Principia*.

Este fundamento se ha aplicado incluso como criterio de validación como cuando Engels¹⁴³ atribuía a la máquina de vapor la confirmación de las leyes de la Termodinámica. Más allá de la extrapolación, queda claro que lo social inunda toda la actividad científica.

¹⁴¹ Merton, R. (1977): La sociología de la ciencia, investigaciones teóricas y empíricas. Colección de ensayos publicados entre 1938 y 1972. Ed. Alianza, Madrid.

¹⁴² Núñez, J. (1999): “La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar.” Sala de lectura CTS+I Ciencia, tecnología, sociedad e innovación Organización de Estados Iberoamericanos. <http://www.oei.es/salactsi/nunez06.htm>

¹⁴³ Engels, F. (1975): *Dialéctica de la Naturaleza*. Editorial Cartago. 1975. Buenos Aires

Con respecto a la experimentación ocurre otro tanto. La observación, la medición, no pueden ser pasivas y privadas sino activas y públicas. (Chalmer¹⁴⁴). Esto es de importancia relevante en la teoría educativa por cuanto la defensa, presentación y promoción de reportes científicos constituye *per se* una competencia a desarrollar desde los años más tempranos.

Dentro de esta esfera socializadora se inscriben dos tendencias epistemológicas de amplia difusión contemporánea en la filosofía de la ciencia, ambas de corte histórico. La primera, vinculada con Thomas Khun y su visión de los cambios en la ciencia a partir de sucesiones de paradigmas; la segunda vinculada con Teoría de los Programas de Investigación de Imre Lakatos¹⁴⁵.

En *La Estructura de las Revoluciones Científicas* de Kuhn¹⁴⁶ se analiza las teorías científicas, que como toda creación temporal, nacen, se desarrollan y mueren.

El enfoque que Thomas Khun hace de la ciencia es histórico, atendiendo a su ontogénesis y evolución. El cambio no proviene de la mera acumulación de hechos, sino de la crisis dialéctica que se presenta cuando estos cambios cuantitativos promueven otros cualitativos. Según Kuhn, en el período de aceptación general de una teoría, que él llama ciencia normal, no sobrevienen grandes discrepancias y la verdad aceptada como paradigma no sufre retos de consideración.

Cuando las anomalías se llevan al límite, la comunidad entra en un período de ciencia revolucionaria que se resuelve con la aparición de un nuevo paradigma. La aceptación de este nuevo *paradigma*, radicalmente diferente al precedente, nunca ocurre de golpe, denotando la inercia mental de los seres humanos que lo enfrentan.

La teoría de Kuhn adolece de puntos débiles asociados al relativismo para aceptar uno u otro nuevo paradigma, pero educativamente ofrece un hilo de continuidad

¹⁴⁴ Chalmer, A. (2003): *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* ISBN: 84-323-0426-3, Editores Siglo XXI, Madrid.

¹⁴⁵ Lakatos, I. (1978): *La metodología de los programas de investigación científica*. ISBN: 84-206-2349-0. Ed. Alianza Editorial, S. A., Madrid.

¹⁴⁶ Kuhn, T. (1961): *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Octava reimpresión (FCE, Argentina), 2004.

que permite entender el principal esquema de enseñanza de la ciencia aplicado por los maestros de todo el mundo: *el enfoque histórico*.

Imre Lakatos en su *La metodología de los programas de investigación científica*, sigue la tendencia historicista de Kuhn pero asociándola a una versión más evolucionada del falsacionismo, una falsación que a diferencia de Popper transcurre en una nueva unidad de análisis: el *programa de investigación científica*.

El Falsacionismo Sofisticado de Lakatos plantea a cada paradigma como una serie de teorías mancomunadas que comparten un núcleo duro, protegido por un Cinturón Protector de hipótesis auxiliares que pueden ser modificadas, eliminadas o reemplazadas por otras nuevas con el objetivo de impedir que se pueda falsar el núcleo firme. En cada programa de investigación se establecen dos heurísticas, denominadas negativa y positiva, cuyas estrategias son conservar el paradigma existente mediante la protección interna y desarrollar al máximo el carácter predictivo del programa imperante. Un programa de investigación científica pueden ser degenerativo, cuando el programa no predice fenómenos nuevos por mucho tiempo; o progresivo, cuando el programa tiene éxito en ese sentido.

Lakatos supera a Popper al indicar que el falsacionismo es inadecuado como regla universal, citando el caso de la teoría newtoniana cuyas bases, desde el inicio son falsables. Lakatos es también fuertemente criticado porque muchas investigaciones de gran impacto difícilmente pudieran adscribirse a un programa de investigación científica.

Con respecto a la unicidad de la ciencia como esfera sociológica, González indica que si bien no hay ninguna razón, desde un punto de vista sociológico, para otorgar a la actividad científica un *status* privilegiado esto no es óbice para dejar de reconocer su singularidad, una singularidad que permite responder la segunda pregunta sociológica, la analítica, sobre lo que diferencia a la ciencia como productora de ciencia.

Según González,

“...la utilización de conocimiento científico para producir tecnología y, a través de ella, interferir en la realidad, modificarla o incluso crear nueva realidad, es la característica fundamental de la ciencia y lo que le confiere su eficacia, efectividad y relevancia social... de modo tal que desde el punto de vista sociológico no parece suficiente limitarse a la ciencia y sus métodos... sino es conveniente también incluir la aplicación de tales productos.”¹⁴⁷

Aparecen de este modo nuevas relaciones, nuevas dependencias entre lo eminentemente científico y lo puramente social.

Por último, quizás la dependencia más grande entre lo social y la ciencia, es ese enunciado antropológico del hombre como ser social. Ya se ha hecho referencia a ello en el epígrafe sobre el lenguaje, pero se trata ahora de enfatizar el hecho de que no podemos aprender fuera de ese contexto social que hace del individuo, del espécimen biológico, un ser humano. Al respecto Bruner señala:

“Hace algunos años escribí varios artículos insistiendo mucho acerca de la importancia del aprendizaje por descubrimiento, aprendizaje por uno mismo, como Piaget lo ha expresado más tarde (y creo que con mas acierto) aprendizaje por invención. En los años posteriores... he llegado a ver claramente que la mayor parte del aprendizaje, en la mayoría de los entornos, es una actividad realizada en común, un proceso en el que se comparte la cultura. El niño debe hacer su propio conocimiento, pero además debe hacer esta «apropiación» en una comunidad que comparte su sentido de pertenecer a esta cultura”¹⁴⁸

Sólo el entorno social adecuado puede permitir el desarrollo y crecimiento del pensamiento científico. Es preciso atenderlo tanto como a las probetas y los microscopios.

¹⁴⁷ González, T. et al (1988): *Las sociologías del conocimiento científico*. Revista española de investigaciones sociológicas, ISSN 0210-5233, N° 43, 1988, pags. 75-124. DIALNET OAI Articles. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=249199>

¹⁴⁸ Bruner, J. (1984): *Acción, pensamiento y lenguaje*. ISBN: 84-206-6502-9 Alianza Editorial, Madrid.

Corolario Utilitario: La ciencia es útil y placentera.

La ciencia es la base de la tecnología. El carácter predictivo-explicativo de la ciencia es la base de su utilidad. Con la posibilidad de la transformación a partir de la acción humana, la ciencia y la tecnología permiten al inválido homo sapiens convertirse en el Pulgarcito con botas de siete leguas de Perrault.

El papel creciente que la ciencia y la tecnología están jugando en la sociedad contemporánea prescribe así mismo la necesidad de una formación ciudadana que le permita dirimir entre supuestos cursos de acción. El voto popular sólo es significativo si se realiza con libertad y con razón de causa. Esta es, al parecer, la mejor estrategia en las relaciones Ciencia Tecnología Sociedad Ambiente (CTSA). La educación en ciencias es, por tanto, imprescindible.

La dependencia creciente entre ciencia, tecnología y modos productivos, aunado al carácter global de la economía, han convertido a la educación científica en nueva fuerza productiva que exige mano de obra altamente calificada tanto teórica como experimentalmente. El adiestramiento en ciencias es, por tanto, imprescindible.

La transformación de la Ciencia en Gran Ciencia, en Ciencia de estado y la conversión de la esta Ciencia en fuerza productiva directa, han introducido nuevas facetas dentro de lo utilitario. Muchas críticas a la Ciencia contemporánea se dirigen hacia una extrapolación de su fin como algo útil. En la postmodernidad, el resultado de la ciencia, tradicionalmente dirigido a la comunicación y publicación científica, muchas veces busca ahora como primera acción la patente, el mercado, el secreto militar mientras que los conceptos primarios de comprensión de la verdad, distribución libre del conocimiento y uso de la información con fines humanistas parecieran quedar relegados a un segundo plano. Desde el punto de vista educativo estos temas son de extrema relevancia.

La utilidad de la Ciencia es innegable, pero lo aún debatible en muchos entornos, es su carácter placentero. El aprendizaje de la Ciencia no tiene porque ser sufrido. La ciencia no es vacuna, necesaria pero dolorosa. Una enseñanza problémica, motivante, y vinculada a necesidades e inquietudes propias del estudiantado puede ser fuente de profundo regocijo.

Corolario Estético: Hay tanto arte en $E = mc^2$ como en la sonrisa de la Gioconda.

De idéntica forma a como se promueve y estimula la creatividad y apreciación artística temprana, de igual forma debe promoverse y estimularse la apreciación de la belleza científica. Belleza y creatividad en el arte y la ciencia han sido tema de debate por siglos. Para Immanuel Kant¹⁴⁹, el "genio" existe en las artes, pero no en las ciencias a pesar de la idealización común de los científicos como Newton. Los científicos pueden describir la creación, los artistas no. Pero el problema estriba en que es debatible el comparar formas creativas aun cuando estén próximas en género. No es posible comparar un Bocaccio a un Picasso; *El David* de Miguel Ángel a *El Pensador* de Rodin. Comparar la belleza de una obra científica, comparar la belleza de un experimento con la belleza de una obra de arte plástico, es aun más complejo. Si la creatividad puede enseñarse, si la genialidad es innata, si pueden evaluarse o contrastarse; esos son temas para otros debates. Lo destacable acá es que todos podemos, en cierta medida, disfrutar de la belleza de esa forma de arte llamada ciencia.

Desde el punto de vista del educador, enseñar la belleza implícita en un conjunto de ecuaciones, en la portentosa simetría de las leyes naturales, es tan arduo como enseñar a apreciar las obras de arte tradicionales. Ambas educaciones requieren de una comprensión de entorno, de una socialización, de una decodificación del mensaje. Si bien hay infinitas formas de interpretar un cuadro, también hay infinitas formas de apreciar un principio de conservación. Decía Martí¹⁵⁰: "Donde yo encuentro poesía mayor es en los libros de ciencia"

¹⁴⁹ Crease, R. (2003): The Newton-Beethoven analogy. Physicsworld. Apr 1, 2003

¹⁵⁰ Martí, J. (1895); *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 20, p. 218.

La sonrisa asimétrica de la Gioconda es equiparable a la asimetría de la ley de Gauss del Magnetismo¹⁵¹. La educación para percibir estos detalles es imprescindible para fomentar la percepción estética¹⁵² que promueve la creatividad y el disfrute. Una pequeña falla interna, una ruptura del paradigma imperante, puede ser ignorada cuando se asocia a causas espurias, pero de vez en vez, surge una idea nueva que es, al inicio, una quimera. La ciencia necesita por tanto muchos soñadores.

Pero la belleza trasciende lo meramente simbólico para penetrar en el acto experimental. R. Crease, al analizar los Diez experimentos más bellos de la historia, lo expresa de la siguiente manera:

“Es natural llamar bello aquello que cautiva y transforma nuestro pensamiento, que hace que el resultado se destaque clara y económicamente y no abstractamente como una lección, sino de un modo integrado de forma material, y que revela que estamos activamente involucrados con algo más allá de nosotros. Hablar de la belleza en la ciencia como pertenecientes exclusivamente a la teoría o las ecuaciones es no entender la belleza y la ciencia.”¹⁵³

En este plano de la Física experimental, lo bello adquiere connotaciones especiales que no se asocian a lo ampuloso del montaje o a lo complejo del procesamiento. Johnson, describe esta belleza casi en términos poéticos:

¹⁵¹ N. del A.: La ausencia de cargas magnéticas aisladas introduce un elemento asimétrico en las ecuaciones de Maxwell. $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$, $\nabla \cdot \vec{B} = 0$. La perfección exquisita de las ecuaciones, se rompe.

¹⁵² N. del A.: Lo pragmático y lo estético muchas veces aparecen como antagónicos en el marco de la enseñanza de la ciencia, otra de las trasposiciones que refleja la separación de la educación de su tradición humanista. Pragmatismo y estética conviven en cada ecuación, en cada tabla y en cada experimento. En este sentido, Dewey recalca: "... es verdad en aritmética tanto como en poesía que... es bueno apreciar las cosas por su propio valor, sencillamente como una experiencia agradable. Cada tema en alguna parte de su desarrollo debe poseer, respecto al individuo a que se dirige, una cualidad estética". Véase Vargas-Mendoza, J. (2007): *Fundamentos filosóficos de la educación: Apuntes para un seminario*. Asociación Oaxaqueña de Psicología. México.

¹⁵³ Crease, R. (2002): *The most beautiful experiment*. Physics World. Sep 1, 2002.

“Lo que tienen en común (estos experimentos¹⁵⁴) es que epitomizan esa elusiva cualidad que los científicos llaman belleza. Esta es belleza en el sentido clásico: la simplicidad lógica de los instrumentos, la simplicidad lógica del análisis, parecen tan inevitables y puras como las líneas de un monumento griego. La confusión y la ambigüedad son momentáneamente barridas, y algo nuevo acerca de la naturaleza se hace evidente.”¹⁵⁵

Apreciar la belleza experimental, requiere de un proceso de culturalización, exige adquirir estos cánones y parámetros estéticos. La belleza de la ciencia debe ser aprendida, y por tanto, enseñada. No hay forma de obviar el experimento científico si de estética, en el sentido universal, estamos hablando.

Corolario de la Perseverancia: “El saber no ocupará lugar, pero lo que es tiempo...” El aforismo de Wagensberg¹⁵⁶ pone de manifiesto la importancia de la tenacidad para el trabajo científico. Éste es otro elemento crucial para el desarrollo de valores en la infancia y la juventud.

Las leyes de la naturaleza no son cuencos de oro resplandecientes en el fondo de una caverna esperando por un científico a lo Indiana Jones. La educación debe

¹⁵⁴ N. del A.: Este es el listado, por orden cronológico, los diez experimentos más bellos según la encuesta de *Physics World* de 2002.

Por orden cronológico son:

1. La medición del meridiano terrestre por Eratóstenes
2. El experimento de Galileo de la caída de objetos
3. Los experimentos de Galileo con bolas rodantes por planos inclinados
4. La descomposición de la luz solar con un prisma de Newton
5. El experimento de la barra de torsión de Cavendish.
6. El experimento de la interferencia de la luz de Young
7. El péndulo de Foucault
8. El experimento de la gota de aceite de Millikan
9. El experimento de bombardeo con partículas α del núcleo de Rutherford
10. El experimento de Young de la doble rendija aplicado a la interferencia de electrones individuales.

¹⁵⁵ Johnson, G. (2002): *Here They Are, Science's 10 Most Beautiful Experiments*. The New York Times. Ed. 2002/09/24

¹⁵⁶ Wagensberg J. (2004): *Si la naturaleza es la respuesta ¿Cuál era la pregunta?* §40 ISBN: 84-8310-847- X Tusquets Editores Barcelona

perseguir la erradicación de este estereotipo de científico cuyo éxito está predeterminado. Muy alejado de este papel romántico, la ciencia real es mucho más monótona, más vinculada con largas horas de preparación y análisis, de estudio y observación en sillas no siempre tan cómodas. La inspiración está mucho más próxima al coxis que al frontal. Dios no regala Teoremas.

Si bien es cierto que el azar a veces juega un papel desencadenante en el desarrollo de teorías y experimentos, también lo es que sólo aquellos que han dedicado una vida a su formación científica, sólo aquellos con las capacidades y potencialidades socialmente adquiridas para aprovechar esas felices coincidencias, tienen éxito.

La perseverancia siempre está asociada al reto cognitivo, a la resolución de esa contradicción interna que invalida el paradigma establecido en el que el científico fue educado. La lucha interna de un Poincaré que no se resiste a abandonar la idea del éter o la de un Planck que debe discretizar la radiación continua del cuerpo negro. La ciencia acabada de la escuela recurre poco a la historia y mucho menos al drama de la propia generación de la ciencia como conflicto humano. La ciencia se enfoca en el objeto conocido y no en el sujeto cognoscente. De esto debe ocuparse la educación. Mucho se habla sobre la vida amorosa de Einstein, pero muy poco del dilema interno para tratar de compaginar la teoría cuántica con la causalidad. Hong y Lin¹⁵⁷ establecen en este sentido dos tipos de conocimientos sobre las personas que hacen ciencia y sus posibles efectos sobre el aprendizaje de la ciencia. El primero es el general, poco más que una síntesis curricular; el segundo es el profundo, dirigido a comprender el cómo se crea el conocimiento a partir de la resolución de los conflictos. Estos últimos son los que mayor riqueza aportan para la comprensión de la naturaleza humana de la ciencia, y a ellos a los que se les debe prestar especial atención.

¹⁵⁷ Hong, H.; Lin, X. (2008): *Introducing people knowledge into science learning*. Source International Conference on Learning Sciences archive Proceedings of the 8th international conference on International conference for the learning sciences - Volume 1. ISSN:1573-4552 Utrecht, The Netherlands.

Corolario de la Democracia: Las nuevas teorías, las nuevas evidencias, siempre requieren de un forum, de un quórum en donde, tras fundamentaciones y conversiones, la mayoría de la comunidad científica, por consenso, lentamente va avalando la nueva ciencia. Este proceso en donde nada es por autoridad, en donde el debate, la defensa y el ataque de las nuevas posturas queda dirimido por la evidencia consistente, es un mecanismo excelente para educar al ciudadano en verdadera democracia: una democracia en libertad de opinión y con razón de causa. Sagan¹⁵⁸ señala como bases de la democracia la praxis de la Ciencia, “el libre intercambio de ideas, el debate honesto y abierto, el reconocimiento de los méritos pero la negación de privilegios”.

Libertad y libertinaje andan de la mano en nuestros tiempos. El educador debe superar lo que Savater¹⁵⁹ denomina como “crisis de las humanidades”, refiriéndose a la relativización postmoderna. La discusión de temas enmarcados en el contexto científico en busca de la verdad – no de la Verdad – es un entorno perfecto para resaltar la libertad de tener opinión propia sin inferencias dogmáticas, pero estando dispuestos a revisar, modificar – incluso a descartar – estas creencias en el debate social informado, libre y racional. El constructivismo no debe confundirse con la equiparación en la validación de opiniones del especialista que sabe de qué habla y del neófito que defiende su ignorancia.

La capacidad de pensar racional y flexiblemente puede desarrollarse en múltiples marcos teóricos, en todos los problemas de lápiz y papel. Por ejemplo en la ruptura de la lógica simple mediante la verdad $10 + 4 = 2$. Pero en la actividad experimental aparecen circunstancias únicas por su tipología en las que la flexibilidad se hace natural y el estudiante puede advertir cómo un $40 = 37$. Estas potencialidades del experimento deben aprovecharse al máximo.

¹⁵⁸ Sagan, C., Druryan, A. (1995): *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. The Random House Publisher Group. New York. 1995

¹⁵⁹ Savater, F. (2007): *El Valor de Educar*. ISBN 978-84-344-4469-0. Ed. Ariel, S. A. Madrid.

Corolario Axiológico: Hay principios éticos generalmente aceptados en la práctica científica.

A las normas éticas que rigen el pensamiento social, se le añaden singularidades para la comunidad científica, para la ciencia, si se utiliza la palabra como apócope de esta comunidad mas no como personalización. Si bien la Ciencia como cuerpo de conocimiento, es estrictamente neutra desde el punto de vista moral, los hombres que la emplean cargan con todo el peso de sus consecuencias. Con isótopos radiactivos se puede curar un cáncer o cometer un genocidio.

El surgimiento y desarrollo de la ciencia moderna se explica sobre la base de este *ethos*. Según Merton,¹⁶⁰ la respuesta a la primera pregunta sociológica se infiere de la conversión paulatina de actores individuales a una institución normada cuyo objetivo es la extensión del conocimiento certificado. Estos estándares se concretizan en el *ethos* mertoniano conocido bajo el acrónimo de CUDEOS: Comunitarismo, Universalismo, Desinterés, y Escepticismo Organizado. Supone también que los científicos interiorizan esas normas y las convierten en pautas de su conducta.

El CUDEOS ha sido sometido a todo tipo de crítica y reformulaciones, incluso por su propio autor, toda vez que los científicos, como seres humanos, no pueden cumplir reglas tan precisas y ascetas, tan separadas de los intereses y conflictos de la sociedad real en que se desenvuelven. El altruismo y la verdad despersonalizada se ven afectada por la búsqueda de status y beneficios políticos o económicos.

En contra de la imagen estereotipada del científico recto y pulcro, los individuos pueden ser tentados a la alteración, el ocultamiento, la postergación, el plagio y el espionaje; en resumen: al fraude. Con el advenimiento de la llamada Gran Ciencia y su transformación en primera fuerza productiva y militar, surgen nuevas grandes tensiones-tentaciones políticas, económicas y ególatras sobre los individuos responsables de hacer la ciencia.

¹⁶⁰ Merton, R. (1977): *La sociología de la ciencia, investigaciones teóricas y empíricas*. Colección de ensayos publicados entre 1938 y 1972. Ed. Alianza, Madrid.

Grandes y continuos escándalos (Siano¹⁶¹) han envuelto a las compañías del automóvil, la industria química, la construcción, la farmacéutica y el tabaco durante los últimos decenios. Casos paradigmáticos son mencionados de continuo como el del Dr. Scheffer Teng, investigador de Harvard e inversor de Spectra Pharmaceuticals quien alteró y retrasó los resultados de la investigación sobre una supuesta crema enriquecedora de vitamina A con el único propósito de enriquecerse a si mismo con más de un millón de dólares.

A pesar de su idealismo extremo, el modelo del CUDEOS mertoniano sigue formando parte del ideal científicista empleado en la educación y compartido por amplísimos sectores sociales. La educación científica debe superar las visiones polarizadas y personalizadas de la ciencia que intentan verla como la gran panacea o el peligro mortal de la especie. No hay más responsable que el ser social.

Estas exigencias en valores se hacen cada día más notorias, más imprescindibles y más decisivas en la medida que la salvación o perdición de la civilización se tamizan a través de ella.

Pero, cómo es obvio, no basta con listar deberes y obligaciones. Los científicos son humanos; los humanos pueden verse tentados a pecar de continuo. Ni sacerdotes ni maestros están exentos de esta regla. Los maestros, conciente o inconcientemente, pueden verse atrapados o arrastrados por políticas o estándares. Hay una especie de contradicción, porque necesitamos de las metas como derroteros, pero esas metas tienden a concentrar una acción que termina siendo parcializadora. Argueta explica que:

“...el establecimiento de estándares con fines educativos da como resultado la rigidez de las prácticas educativas que se orientan,

¹⁶¹ Siano, B. (1999): *Blue Smoke, Mirrors, and Designer Science: How the Public Relations Industry Compromises Democracy*. Skeptic magazine, Vol 7, No. 1.

estrictamente hablando, a la búsqueda de “rendimientos satisfactorios” en las evaluaciones nacionales...”¹⁶²

La sociedad educativa ha sido testigo de estas aberraciones (Jacob B. A. et al¹⁶³) tras los incidentes suscitados después de la promulgación del acta de 2001 "Ningún chico dejado atrás" promulgado por el presidente G. W. Bush¹⁶⁴. (U.S Department of Education 2001). La presión social u política fue tal que los docentes se doblaron y desdoblaron con el único propósito de adaptarse a las nuevas expectativas. El fin se desvirtuaba así tras la meta.

Las grandes responsabilidades éticas se vinculan con los grandes peligros. La ciencia debe ser prospectiva en cuanto a riesgos. Así, los científicos deben ser los primeros en cuanto a responsabilidad social mediata de los trabajos que desarrollan, los primeros en advertir los riesgos potenciales y las limitaciones que toda propuesta de acción humana debe contemplar. La ciencia, con toda su carga subjetiva, con toda su impronta social, debe intentar ser transgénica y transgeneracional, debe permanecer imparcial ante todo tipo de autoridad económica o política, a todo tipo de regionalismos, nacionalismos, razas y credos. La ciencia debe ser global. Sólo una Patria debe tener la ciencia, la Patria de Martí¹⁶⁵ cuando promulgaba que “Patria es humanidad”.

¹⁶² Argueta, B. (2007): *Una perspectiva crítica de las competencias y estándares en las reformas educativas en Centroamérica en Democracia y Educación. Ensayos*. Colección Cuadernos de Docencia. Óscadel. S. A. Guatemala.

¹⁶³ Jacob, B. et al (2003): *Catching Cheating Teachers: The Results of an Unusual Experiment in Implementing Theory*. http://muse.jhu.edu/login?uri=/journals/brookings-wharton_papers_on_urban_affairs/v2003/2003.1jacob02.pdf

¹⁶⁴ Congress of United States (2002): *The No Child Left Behind Act of 2001* (Pub.L. 107-110, 115 Stat. 1425, enacted January 8, 2002). Proposed by the administration of President George W. Bush

¹⁶⁵ Martí, J. (1895); *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 5, p. 468.

3.5 Una epistemología del experimento

Este trabajo no puede intentar, por su carácter didáctico, abordar las enormes complejidades de la experimentación en la ciencia de nuestros días. Se habla, con toda propiedad, de una epistemología propia del experimento, entendida ésta como un conjunto de estrategias que ofrecen certezas razonables sobre los resultados experimentales. Una referencia obligada para aquellos que deseen profundizar en esta área son los trabajos de Allan Franklin¹⁶⁶. Franklin analiza, a la luz de los trabajos de Galison, Collins, Pickering, Hacking y otros, las distintas visiones que sobre el experimento se manejan en nuestros días atendiendo a su carácter falible, la relativa independencia entre teoría y experimento y los pros y contras sobre la contingencia, el carácter nominal y la estabilidad interna.

3.6 Reflexiones metodológicas.

La cuestión que sobreviene a estos enunciados es obvia: Llámense principios o paradigmas, postulados o corolarios, estos enunciados también pueden ser concebidos como dogma, o como cuerpo mitológico. No hay forma, nuevamente, de probar racionalmente esta diferencia. La línea central que el autor de esta Tesis promueve es la convergencia megateórica que permita facilitar la educación científica. Esperar por las calendas griegas es peor que recurrir a los mitos, que por añadidura, “son un ingrediente vital de la civilización humana”.¹⁶⁷

La revisión de estos principios pone de manifiesto la unidad indisoluble entre teoría y práctica, una unidad ignorada, distorsionada o manipulada “que desvirtúa los fundamentos de los procesos de construcción y validación de su conocimiento y deforma el vínculo entre teoría y realidad” (Salinas¹⁶⁸). Nuevos enfoques, nuevas

¹⁶⁶ Franklin, A. (2009): *Experiment in Physics*. Stanford Encyclopedia of Philosophy

¹⁶⁷ Bronisław Malinowski (citado por Bauer H. op cit p. 150)

¹⁶⁸ Salinas, J.: *El vínculo entre teoría y realidad en las aulas de Física. Dificultades de estudiantes universitarios en Electricidad*. Ponencia presentada en la Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física. Comisión Internacional de Educación en la Física (ICPE) 2006

estrategias educativas tendrán que ser desarrolladas para llevar, al profesorado primero y al estudiante después, a la discusión problemática de estos aspectos a partir del desarrollo de trabajos prácticos.

Muchas críticas se escuchan en contra de las inconsistencias gnoseológicas, ontológicas y metodológicas de la ciencia. Extrema atención ha de poner el educador en resaltar que estas ambivalencias e incompletitudes de los métodos científicos son empleados para desacreditar la ciencia desde posturas místicas (New Age) o epistemológicas con fundamentos relativistas o escépticas radicales, como denuncia Sokal.¹⁶⁹

Muchas críticas se escuchan a una educación científicista, cargada de positivismo, muchas voces que alertan contra un adoctrinamiento materialista en el que “la educación *científica* consista ante todo en fomentar e ilustrar el uso de la razón, esa capacidad que observa, abstrae, deduce, argumenta y concluye lógicamente”. La cita es de Savater, basándose en Jerome Bruner y John Passmore. Sólo que en lugar de emplear el término *humanista*, el autor de esta Tesis lo ha sustituido por *científica*. Si este es el paradigma de la educación humanista, no puede negarse el más amplio esfuerzo para la educación científica. Cualquier educación en valores tiene que contemplar estos aspectos que no son ni espontáneos ni inmovibles.

Hay ya algunas propuestas en germen (Beatriz Marco Stiefel¹⁷⁰) que indican en este sentido, que apuntan hacia una nueva forma de aproximación a la ciencia destacando la naturaleza humana del investigador, la no linealidad, el trabajo en

¹⁶⁹ Sokal, A. (1998): *Entrevista*, Revista Ciencia Hoy Volumen 8 - Nº47 - Julio/Agosto 1998

¹⁷⁰ Marco Stiefel, B.(2005): *La Naturaleza de la Ciencia, una asignatura pendiente en los enfoques CTS*. En *Retos y perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI* editado por Pedro Membiela y Yolanda Padilla (Editores). Educación Editora. ISBN 84-689-3283 -3. Madrid.
<http://www.oei.es/ctsi49.htm>

equipo, los problemas de género, la sistematicidad y el papel de la teoría y la experimentación entre otros.

Una de las ideas básicas del autor de esta Tesis es que no sólo la enseñanza experimental de la ciencia debe contemplar estas emergencias sino que sin ella es imposible afrontar los nuevos retos. Sin experimentación la enseñanza estará mutilada. El papel de la ciencia es permitir educar a la sociedad en su praxis, el papel de la sociedad es mantener a la ciencia en su ética. El mayor peligro es convertir a la ciencia en privilegio de las élites, la mayor gloria es hacer de la sociedad, una sociedad de científicos.

4- Enseñanza significativa de la ciencia y experimentación.

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo.

Benjamin Franklin

En el capítulo anterior fue considerada la relevancia de la ciencia como invención humana. Este concepto polisémico se manifiesta tanto como cuerpo de conocimientos, como proceso para adquirirlo y perfeccionarlo, como conjunto de normas sociales que la avalan o degradan. Al igual que toda obra humana, la ciencia posee una fuerte determinación sociohistórica. Es precisamente la sociedad científica la que, por consenso, acepta o rechaza las nuevas formulaciones. Falible y en continua evolución, enfocada a describir, predecir y transformar a voluntad el mundo material, la ciencia no debe ser sacralizada como verdad trascendente ni rechazada desde posiciones escépticas y anárquicas. Los métodos empleados en su formulación son tan dinámicos como la propia ciencia y muy a menudo la acompañan en su evolución.

La relación entre la teoría y el experimento constituye la piedra angular del fundamento epistemológico de la ciencia. Sin una clara visión epistemológica de la ciencia y sus métodos tarde o temprano se pierde el rumbo. Pero existen tres momentos, tres situaciones que a pesar de su profunda relación orgánica deben ser claramente distinguidas y abordadas: una cosa es reflexionar sobre los fundamentos epistemológicos de la ciencia, otra es crear este nuevo conocimiento sobre la base de la investigación y otra muy diferente pretender enseñar todo este marco de acción. El siguiente capítulo aborda este fundamento pretendiendo dirigir la atención a los objetivos de esa evolución a la que denominamos educación científica y al papel que la experimentación juega en ella.

El enfoque histórico, basado en un análisis crítico del currículo en ciencias, debe ser la principal y permanente herramienta para la selección, adecuación e implementación de las nuevas tendencias en materia educativa. Queda claro que en este intento deberá centrarse la atención no sólo en el currículo factual, dado por tablas de objetivos, contenidos y competencias, sino también por ese currículo oculto, por ese currículo nulo cuyo conjunto de normas y valores a nivel de aula

que, como señala Posner¹⁷¹ “puede tener una profundidad y un impacto mayor en los estudiantes que cualquier otro currículo oficial u operacional”.

Por razones históricas y disciplinares, los cambios más importantes en las tendencias educativas de las ciencias del siglo pasado tuvieron su vórtice en los Estados Unidos de Norteamérica, de modo que todo análisis, todo punto de partida, forzosamente gravitará sobre esta experiencia. De cuán inteligentes seamos para aprovechar los aciertos y evitar los yerros, de cuán sabios seamos para adaptar e innovar desde nuestras perspectivas, particularidades, potencialidades y posibilidades latinoamericanas, dependerá en mucho la capacidad de superar esa brecha, cada vez menor en lo geográfico, pero cada vez mayor en cuanto a posibilidades de real y sostenido desarrollo.

4.1 El papel del currículo en ciencias. Entre críticas, tanteos y propuestas.

“La división del arte del tratamiento introdujo en las escuelas el detestable procedimiento en el que algunos realizan la disección del cuerpo humano y otros presentan la descripción de sus partes. Estos últimos... eructan cosas que nunca han investigado sino que simplemente han memorizado de los libros de otros. Los primeros son tan ignorantes en idiomas que son incapaces de explicar sus disecciones... y confunden lo que debería demostrarse. Los segundos, como nunca han usado sus manos en la disección de un cadáver, desdeñosamente capitanean el barco desde un manual. De esta manera todo se enseña mal en las escuelas, los días se gastan en cuestiones ridículas y, con tal confusión, se les presenta menos a los espectadores de lo que un carnicero le podría enseñar a un médico en su puesto...”

Vesalio. “De Humani Corporis Fabrica”, 1543

La experimentación, como elemento propio de la enseñanza, comienza a salir de su largo letargo educativo hasta pleno renacimiento. Hasta ese entonces, cátedra era lectura, una lectura canonizada en la Biblia y extendida a todo texto que se considerara entonces como sagrado. Si el problema es mecánico, consúltese a

¹⁷¹ Posner, G. (1998): Análisis de Currículo. ISBN: 958-600-891-6. Ed. McGraw-Hill. Colombia.

Aristóteles, si es médico a Galeno. En la época de Vesalio y Da Vinci¹⁷² las disecciones muchas veces eran vistas como actos profanos que bien podían, a la larga, conducir a la hoguera. Pero cuando los profesores disponían del cadáver de algún criminal confeso, era un barbero el que operaba mientras que el maestro leía la letra muerta de Galeno. Tal era la separación entre la teoría y el experimento y tal su efecto sobre el acto educativo.

La experimentación, como supuesto inexcusable dentro de la formación del ciudadano moderno, aparece sólo hasta bien entrado el siglo XIX con la consolidación de los paradigmas empiristas y positivistas. Transcurren cuarenta años entre la edición de *A system of Logic* de Mill, con su teoría del conocimiento en la que el saber humano tenía su origen y su límite en la experiencia observable, hasta el *Código de 1882* del *Education Department* norteamericano, promulgando que la enseñanza en ciencias se llevara a cabo principalmente con experimentos. La corriente europea de la “*The New School*” de 1889 sienta las bases de la tendencia constructivista en donde la educación ya no se concibe como medio magistrocéntrico, artificial y teórico separado de la vida, sino centrada en el aprendiz y en contacto con la naturaleza y la realidad de las cosas.

Ya el reporte de “The Committee of Ten, un intento basal por hallar tendencias a largo plazo en la educación norteamericana de finales del siglo XIX, establece:

“La Conferencia fue claramente de la opinión de que desde el comienzo, este estudio¹⁷³ debe ser realizado principalmente, aunque no exclusivamente, por el alumno, por medio de experimentos y prácticas en el uso de instrumentos simples para hacer las mediciones físicas. El informe se centra en varias ocasiones sobre la importancia del estudio de las cosas y los fenómenos por contacto directo.”¹⁷⁴

¹⁷² Sanchez Silva D. (2009): *Andrés Vesalio y Leonardo da Vinci. Dos artistas viendo al hombre durante el renacimiento.*

<http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articles/555/6/Andres-Vesalio-y-Leonardo-da-Vinci.-Dos-artistas-viendo-al-hombre-durante-el-renacimiento>

¹⁷³ N. del A.: Se refiere al estudio de los fenómenos naturales simples en las escuelas elementales.

¹⁷⁴ National Education Association (1894): *Report of the committee of ten on secondary school studies with the reports of the conferences arranged by the committee.* American Book Company. New York.

En la Norteamérica del siglo pasado, estas nuevas ideas aparecen vinculadas al pragmatismo y al instrumentalismo a través de la Escuela Progresiva de John Dewey. La huella enorme de Dewey sobre la educación en general, y en particular sobre la enseñanza de la ciencia, cubre todo el siglo XX. Es, sin lugar a dudas, la mayor influencia sobre la praxis educativa moderna. El principio operativo de su teoría del aprendizaje es el *learning by doing*: aprender haciendo, resolviendo problemas concretos y no escuchando y aceptando. Pero lo que provoca mayor admiración, es que ese pragmatismo de Dewey no le obliga a limitarse al individuo y su formación para la vida, sino a ver en la educación la solución utópica, el instrumento para la transformación social democrática.

Para Dewey el concepto fundamental relacionado con el conocimiento es **la experiencia**. La experiencia se hace hipótesis de la educación, casi galimatías, cuando define técnicamente la educación como “aquella reconstrucción de la experiencia que da sentido a la experiencia, y que aumenta la capacidad para dirigir el curso de la experiencia siguiente”.¹⁷⁵

Todo esto habrá de ejecutarse asociando al papel de la educación y su currículo con el desarrollo del razonamiento y el empirismo – mente y práctica – pero añadiendo este nuevo criterio: el desarrollo saludable de la experiencia individual. La experiencia para Dewey trasciende lo casual al ser activa, adquiriendo valor en la percepción de las relaciones o continuidades a que conduce. Muchos de los problemas asociados con la enseñanza de la ciencia, surgidos desde posturas de acción y experimentación, sucumbieron por una falsa interpretación de lo que para Dewey significaba este término. Dewey advierte contra la rutina, que si bien útil “limita más que amplía el horizonte educativo... convirtiéndose en gran ineptitud”. El evento aislado, casual, la mera actividad, no representa nunca una experiencia quedando “como escrito en el agua”.

¹⁷⁵ Dewey, J. (1967): *Democracia y Educación*. Una introducción a la filosofía de la educación. Didáctica, Innovación y Multimedia. ISBN 1699-3748. Editorial Losada. Buenos Aires.

La Segunda Guerra Mundial vino a trastocar el proyecto deweyiniano, un proyecto que muchos llaman a retomar.¹⁷⁶ La técnica, la ciencia y la tecnología han sido acompañantes perennes de las guerras. La historia está llena de esos instantes en donde la prevalencia de la guerra hace que la ciencia del momento se enfoque básicamente en estos propósitos bélicos. Voluntaria o forzadamente, con arrepentimiento posterior o sin él, científicos e inventores de la talla de Sakharov, Von Braun, Leonardo y Arquímedes representan algunos ejemplos prominentes envueltos en la historia. Esta relación se hace más acentuada durante y después de la Segunda Guerra Mundial en donde la ciencia literalmente se convierte en instrumento para alcanzar ventajas competitivas. Este conflicto no sólo reorienta la ciencia en cuanto a proyecto, sino que invierte por primera vez la secuencia tecnología-ciencia, diluye sus diferencias, opaca los pruritos morales o éticos y crea condiciones materiales especiales para su desarrollo.

Los enormes y planificados proyectos que condujeron al desarrollo del radar, los motores de reacción, el uso de nuevos polímeros, los computadores y la web, la conquista del espacio, los satélites meteorológicos y de comunicación, la producción a gran escala de antibióticos e insecticidas y en particular el desarrollo de las armas nucleares con el Proyecto Manhattan, colocaron a la ciencia – la Gran Ciencia – y a la Academia Universitaria, en la cúspide de su prestigio. Esta Academia que asesora al *establishment*, está ahora en la capacidad de marcar el rumbo de la educación y la sociedad toda. En la imaginería popular y su propaganda, Ford y Edison son suplantados por Einstein y Von Braun.

¹⁷⁶ Algunos teóricos como Carr, llaman a un retomar la filosofía de Dewey como respuesta directa a la crisis que el postmodernismo ha traído a la educación, como consecuencia de las grietas de un modelo ilustrado de escuela:

“Así, la conclusión final es que la filosofía de la educación de Dewey debe contemplarse como un ejemplo de principios de siglo XX de lo que debe ser una filosofía de la educación en una sociedad democrática madura y postmoderna del finales del siglo XX; una sociedad que es democrática precisamente porque ha reconocido que tiene libertad para hacerse y rehacerse sin recurrir a verdades universales extraídas de alguna autoridad externa.”

Carr, W. (1999): *Educación y Democracia: Ante el desafío postmoderno en Volver a pensar la educación*. Editor: Pablo Manzano. ISBN: 84-7112-403. Ediciones Morata. Madrid.

En cuanto a ciencia se refiere, el currículo habría de transitar bajo el esquema norteamericano de postguerra, extendido a todo el mundo por inducción de valores y hegemonía cultural, y cuyo propósito era garantizar un nivel científico y tecnológico para hacer frente a los riesgos de la Guerra Fría.

La enseñanza de la Física experimentaría un vuelco bajo la obra del físico del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) Jerrold Zacharias (1905–1986), un científico al que el destino pone al frente de la más profunda reforma curricular de su siglo. Formado como físico experimental en la Universidad de Columbia, Zacharias participa en investigaciones de avanzada dentro del campo de la resonancia magnética nuclear en la década de los treinta. En el transcurso de la Guerra, contribuyó primero al desarrollo de la tecnología de los sistemas de defensa por radar en el MIT, y más tarde en el laboratorio de armas nucleares en Los Álamos. Después de la Guerra continuó sus trabajos en haces atómicos que permitieron el desarrollo de los relojes atómicos de cesio, vitales para los nuevos sistemas de navegación y los avances en la metrología del tiempo. Sus nexos con el poder se estrechan al ser nombrado miembro del Comité de Asesores Científicos del Presidente durante todo el período comprendido entre 1952 y 1964.

Estos contactos políticos y militares asociados a sus trabajos de investigación, hacen que Zacharias disponga de información que – cierta o no – lo vinculan por primera vez con lo curricular: según los servicios secretos norteamericanos, la ventaja estratégica soviética se basaba en la calidad intrínseca de la educación superior en la URSS.

Mucho se escribe sobre el efecto del Sputnik en la educación de la ciencia en Norteamérica, pero el Sputnik fue sólo el detonador de una situación que ya venía cobrando fuerza. Casi premonitoriamente, cinco meses antes del Sputnik, Ralph Dexter dictaba una conferencia sobre «La crisis entre la Ciencia y la Sociedad». En ella enfatizaba la importancia de la “gran ciencia” de los cincuenta y reflejaba una pérdida e interés contraproducente de la sociedad por la ciencia.

“Esta crisis se genera por una disparidad básica. En el momento en que los preceptos decisivos en lo económico, político y social se han convertido en su mayor parte dependiente de la ciencia, la disciplina no ha logrado alcanzar su lugar apropiado en la administración de los asuntos públicos. El informe¹⁷⁷ también deja claro que. . . hay indicios de que el interés público en la ciencia no está en consonancia con el importante papel de la ciencia en la sociedad”.¹⁷⁸

Esta es la situación imperante cuando Zacharias comienza sus programas. En 1956 inicia una serie de videos para promover la enseñanza de la física en la educación media que son seguidos por el programa Physical Sciences Study Committee (PSSC) con la ayuda de la National Science Foundation (NSF).

Haber-Schaim, uno de los integrantes del PSSC, en ocasión del cincuenta aniversario del programa, intentaba recrear el ambiente educativo en la enseñanza de la física a mediados de los cincuenta:

“El texto imperante, la Física de Holt, empaquetaba el capítulo de “Materia y Energía” en ocho páginas que incluían un largo listado de definiciones del tipo “materia es todo lo que ocupa espacio y tiene peso”... En contraste el capítulo sobre máquinas ocupaba treinta y cinco páginas con profusión de palancas y engranajes... En todo el libro no había experimentos o gráficas que se refirieran a ellos como fundamento de las afirmaciones teóricas... No existía un programa de laboratorios. Una revisión de los catálogos de equipamiento para la época mostraba que los instrumentos eran tan caros que quedaban fuera del alcance de los estudiantes.

La mayoría de estos equipamientos eran diseñados para demostraciones de cátedra... Con muy pocas excepciones, los

¹⁷⁷ The Committee on Social, Report by. *Aspects of Science* (Pigman *et al.*, 1957). New York meeting of the American Association for the Advancement of Science, December, 1957.

¹⁷⁸ Dexter, R. (1958): *The Crisis Between Science and Society : A Modern Paradox* The Ohio Journal of Science. Vol. 58 January, 1958 No. 1

alumnos nunca adquirirían habilidades y destrezas de laboratorio. Para ellos la ciencia no era más que vocabulario¹⁷⁹.”¹⁸⁰

Los textos de física, la orientación toda de la enseñanza de la ciencia, eran realizados por personas que no estaban vinculadas con la ciencia de punta: el currículo había congelado la ciencia desde los mismos inicios del siglo XX. Zacharias no sólo encuentra un currículo atrasado, sino saturado hasta un punto en el que literalmente no había espacio para lo nuevo en la ciencia. La solución que propone exige enseñar sólo los conceptos fundamentales y enseñar cómo aprender de forma independiente el resto de los conocimientos a partir de los primeros, un planteamiento estructural de la disciplina que luego se extendería al resto de las ciencias.

Dos eran los objetivos iniciales de proyecto de Zacharias:

- 1- Debía presentar la ciencia física como disciplina humana y dinámica y no como un cuerpo de conocimientos acabados listos para ser memorizados.
- 2- Debía usar todos los recursos y medios disponibles para favorecer el aprendizaje: videos, filminas, libros, equipamiento experimental para estudiantes y profesores, laboratorios, tareas y lecturas auxiliares.

Para el año 1957, el programa y su clásico libro se ensayan de forma experimental en ocho escuelas con la ayuda de decenas de científicos del círculo personal de Zacharias. Un evento singular viene a convertir el programa en urgencia nacional: el lanzamiento del primer satélite artificial de la tierra por los soviéticos ocurrido el 4 de octubre de 1957. Semanas más tarde, el 13 de Noviembre, el Presidente Eisenhower declara:

“Mis asesores científicos consideran este problema de mayor inmediatez que el de producir misiles y desarrollar nuevas técnicas...

¹⁷⁹ Haber-Schaim, U. (2007): *PSSC PHYSICS: A Personal Perspective*. American Association of Physics Teachers.

¹⁸⁰ N. del A.: Adviértase que la descripción es perfectamente válida para la América Latina de nuestros tiempos. Cincuenta años más tarde, la enorme mayoría de nuestros educandos latinoamericanos aún están atascados en este nivel. Necesitamos un sputnik.

Necesitamos científicos en diez años, miles más de los que teníamos planificados”.¹⁸¹

El hombre hace mucho más por evitar lo que teme que para alcanzar lo que quiere. El apoyo institucional y monetario ahora viene no solo de la NSF sino de las poderosas Ford Foundation y la Alfred P. Sloan Foundation. Para el curso académico de 1959 ascienden a doscientos cincuenta los establecimientos que siguen el PSSC. Para 1960 la mayoría de las escuelas estadounidenses se rigen por el programa.

Bajo intensa presión gubernamental, el distinguido psicólogo Jerome Bruner coordina y desarrolla en Woods Hole, Massachusetts, una conferencia que pretendía llegar a un consenso sobre el rumbo que debía tomar la educación, y en particular, el de la ciencia. Allí Zacharias definiría el paradigma que gobernaría la enseñanza de física en algo más de una década: el trabajo intelectual de un investigador científico y el de un alumno de una escuela elemental son esencialmente idénticos. Los estudiantes han de dominar la estructura básica de las disciplinas según los especialistas en ciencia para aprender de forma más efectiva y contribuir al desarrollo del país en los frentes militar y espacial.

El esquema era congruente en el énfasis y la comunión de la observación, la evidencia y la justificación sobre bases adecuadas, al mismo tiempo que se instruía al estudiante con lo más avanzado del conocimiento científico. El currículo debía ser tal que permitiera desarrollar en los aprendices la capacidad de pensar como científicos y prepararlos para una carrera en ciencias, matemáticas e ingenierías impartiendo a los jóvenes estudiantes un sentido de la substancia y método de la ciencia. La respuesta de la National Science Foundation NSF en 1960, se concretó en el desarrollo de programas similares, (BSCS, CHEM STUDY)¹⁸² teniendo una instrucción enfocada en enseñar ciencia para científicos. El compromiso con la

¹⁸¹ Thornburg, D.: *Have We Hit A “Sputnik” Moment Again?* 2007. <http://www.tcse-k12.org/pages/sputnik.pdf>

¹⁸² N. del A.: Las siglas son indicativas de:
BSCS: Biological Sciences Curriculum Study <http://www.bsccs.org/>
CHEM STUDY: Chemical Education Materials Study

investigación y con la experimentación, que ya era un hito en la educación de la ciencia, se hiperbolizó. A pesar del clamor de algunas voces – Ausubel¹⁸³ y su defensa del Aprendizaje Significativo por Recepción – la preeminencia del aprendizaje por descubrimiento había llegado.

Muy interesante en el contexto de esta Tesis es el análisis entre lo teórico y lo experimental en el proyecto de Zacharias. Al inicio todo el equipamiento debía ser construido por los propios estudiantes. Haber-Schaim (op cit) recuerda que “cualquiera de afuera que viera nuestros locales pensaría que nos dedicábamos al negocio de la carpintería”. El énfasis por desarrollar estas capacidades era tan marcado que el libro de Laboratorio comenzaba con un capítulo orientado exclusivamente a cómo construir equipamiento con herramientas simples. El empeño loable, las destrezas deseables, pero la prueba inicial fue un fracaso. Ni todos poseían la cultura manual para tales fines ni se podía dedicar tanto tiempo y esfuerzo a expensas de la física. Ningún profesor había podido concretar el equipamiento al final del primer año. Entonces ejecutaron un cambio hacia posiciones más realistas: descartaron los libros experimentales ya preparados y crearon otros nuevos basados en equipamiento manufacturado, pero de bajo costo a fin de garantizar la accesibilidad. Los laboratorios abandonaron el esquema de “recetas de cocina” con detalladas instrucciones algorítmicas intentando convertir este espacio en un lugar en donde, con equipamiento económicamente accesible, los estudiantes pudieran entrar en contacto con la naturaleza e intentar descubrir sus regularidades.

En el Reino Unido algo similar ocurriría con la introducción de los Proyectos de Ciencia Nuffield, NFSTP (Nuffield Foundation Science Teaching Project)¹⁸⁴ que extienden su presencia hasta el presente y que conciben al alumno como un

¹⁸³ Ausubel, D. , Novak, J., Hanesian, H. 1983: *Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo*. Editorial Trillas, México.

¹⁸⁴ NFSTP, 2009: Nuffield Foundation Science Teaching Project.
www.nuffieldcurriculumcentre.org

investigador científico. La Psicología y la Epistemología Genética de Piaget son el fundamento para tal enfoque.

En 1962 Bruner escribe *The Process of Education* tomando como base este encuentro de científicos, sociólogos y maestros, eclécticos en sus formaciones, enfoques y estrategias, pero unidos por una paranoia por encontrar la forma en que los rusos educaban a sus constructores de satélites. Bruner recoge el espíritu de esos años y en particular el pánico por la carrera espacial de la URSS cuando expresaba:

“Ese fue el período... que siguió al Sputnik. En esa época, el gran problema... era que la física moderna y la matemáticas no estaban representadas en el currículo aunque muchas de las decisiones que la sociedad tenía que tomar estaban basadas en la comprensión de la ciencia moderna”¹⁸⁵

En este libro, Bruner formaliza esta tendencia desde el punto de vista psicopedagógico planteando que:

- a) el currículo debe verse como algo dinámico, abierto y en perenne evolución.
- b) cada disciplina es particular en cuanto a método investigativo.
- c) el objetivo de la educación debería dirigirse hacia el desarrollo en los estudiantes de esos varios “modos de investigación”.

Sin embargo la presión social es siempre mala consejera. En aquel entonces ya primaban las bases humanistas del constructivismo actual, pero la urgencia hace que se recurra a toda tendencia. Fernando Uhía¹⁸⁶ señala este hecho al destacar que si bien la retórica se mantiene centrada en el pensamiento como estructura, sentido crítico individual, currículo en espiral, descubrimientos hechos entre maestro y

¹⁸⁵ Bruner, J. (1971): *The Process of Education revisited*. Phi delta Kappan, 52(1), citado por Posner (op cit)

¹⁸⁶ Uhía, F.(2008): *El Síndrome Charles Montgomery Burns*.
http://esferapublica.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=170&Itemid=53

estudiante, liderazgo mental, autonomía, etc., el conductismo de Skinner¹⁸⁷ es el que solapadamente se impone.

Para cuando la versión final del programa PSSC se aplica a toda la nación, Zacharias y su grupo se cercioran de que éste esté a prueba de “maestros innovadores”: el programa se basaba en la más estricta disciplina y fidelidad de cada maestro para ejecutar el plan según sus diseñadores. Skinner salía ganando.

Bien vale la pena analizar las enseñanzas – verdaderas moralejas – que pueden ser extraídas para nuestro actual provecho de la propuesta curricular en Física del PSSC.

a) La primera involucra trabajar de lo general a lo particular, de las competencias a las que se aspira, a los contenidos y metodologías específicas para lograrlo. Aun hoy, nuestras asignaturas y programas académicos latinoamericanos reciben más atención en lo relativo al contenido que a lo intencional. La consecuencia de tales estrategias es un continuo incremento del tamaño de los programas, y un decremento del tiempo que se dedica a analizar cada uno de los tópicos. La instrucción se hace enciclopédica pero superficial. El problema hoy sigue siendo tan actual como hace cincuenta años y se hace crítico por cuanto las instituciones educativas no sólo deben formar e instruir, sino *certificar*. El profesor está siempre atrapado entre el programa y las capacidades y competencias reales de los educandos. Toda la educación, como las cosechas, descansa en el cronograma.

Bayardo Mejía¹⁸⁸ hacía un análisis incisivo al respecto: si el ochenta por ciento de un grupo de estudiantes no ha alcanzado una meta significativa después de la instrucción planificada, ¿qué sentido tiene seguir con el cronograma? La lógica formal, la intención humana del proceso de enseñanza aprendizaje no permite soslayar la respuesta.

¹⁸⁷ N. del A.: Curiosamente Burrhus Frederic Skinner fue uno de los participantes de aquella reunión. Desarrolló una conferencia titulada **Máquina de Enseñanza**, cuyo fundamento era un simple mecanismo de sobres y cajas que le permitía al estudiante aprender a su propio ritmo, recibir retroalimentación y autoevaluarse prescindiendo del maestro. Si los rusos tenían a Pavlov, los yankees tenía a Skinner. El aislacionismo y la paranoia hacen que los dos imperios respondan de la misma forma.

¹⁸⁸ Mejía, B.: *El rol del docente ante las demandas de formación del profesional de la CEE*. Conferencia impartida en la Universidad Rafael Landívar, Ciudad Guatemala. Julio 2009.

Pero cuando se presentan aquellos cursos concatenados cuyas competencias son imprescindibles para la comprensión del siguiente, el maestro y las instituciones, como grandes mecanismos inerciales, no pueden atender adecuadamente deficiencias locales, singularidades concretas, y el programa y el cronograma de la academia siguen imponiéndose. Es consecuencia de la educación masificada contemporánea, cada grupo se dispersa de un ciclo al siguiente, y se dispersan también aquellos que los orientaron. Cada ciclo es un nuevo amanecer, a veces tormentoso. Poco puede hacer el docente, sometido a estas presiones. Salvo tirar por la borda a aquellos desafortunados que no soporten el ritmo o hayan sufrido experiencias educativas no afortunadas. Otro tanto ocurre cuando las instituciones comienzan a ser evaluadas, certificadas, catalogadas según los resultados de sus estudiantes en pruebas estándares. El docente humanista siempre choca contra el cronograma.

b) Una de las lecciones del proyecto de Zacharias tiene que ver con el quién y no con el qué. El proyecto curricular en ciencias tiene que ser realizado por personas con un profundo conocimiento de la materia específica. Esto es tan obvio que sólo los intereses de poder dentro de los grupos currilistas puede explicar porqué no se cumple. Pero no sólo se requiere de especialistas sino también, de personas con una gran imaginación, creatividad y entusiasmo para alcanzar, siempre con recursos menguados, las competencias deseables. El especialista debe someterse al entorno. Haber-Schaim, en su artículo conmemorativo ya citado, pone ejemplos concretos de estas necesidades y rupturas que se hicieron manifiestas en el proyecto PSSC.

c) La experiencia del PSSC en cuanto al trabajo práctico es de enorme trascendencia. Ya se ha hecho referencia a ello. Si buscamos que todo aquel que curse un ciclo de ciencias tenga espacio y recursos para lo experimental, tendremos que resolver el problema del financiamiento – del orden de los seis dígitos por laboratorio para una firma europea – o hacer, del ingenio y la creatividad, la vía para hacerlo factible. Este es uno de los objetivos de la presente Tesis.

d) Otro aprendizaje de la experiencia con el PSSC, está vinculado a la importancia de las preconcepciones y el conocimiento vulgar con el que siempre se llega a la clase de ciencia. Hace cincuenta años, la *tabula rasa* era aún un paradigma muy sólido. Hoy aceptamos que lo social es, en este caso, definitivo. A nuestras clases de ciencia llegan seres complejos y con ideas muy concretas del mundo en el que viven y, desde el lenguaje hasta las experiencias de percepción, todas estas impresiones previas deben y tienen que ser consideradas como parte de la estrategia didáctica. El problema es que lo sabemos pero lo ignoramos, damos por sentado que nuestro discurso será “suficientemente convincente” para anular la impronta previa. De hecho algunas instituciones obvian los requisitos y de esa manera niegan la importancia de esas experiencias previas imprescindibles para que tenga éxito el aprendizaje efectivo.

e) Por último ha de destacarse, como experiencia fructífera del PSSC para la enseñanza de la ciencia, la importancia del enfoque sistémico. No es extraño en nuestras universidades que cada profesor modifique los objetivos, contenidos y estrategias de cada curso según su propio criterio o voluntad, sin estar al tanto, sin cuestionarse siquiera qué han hecho, qué están haciendo y qué harán sus colegas. En química le exigen los cálculos con tres cifras significativas, en física debe atenerse a un desarrollo de los errores, en física $a/0$ es infinito, en matemática indeterminado. Y en ese zarandeo indiscriminado se desarrolla la escuela. La llamada “libertad de cátedra” y la ausencia de una verdadera “vida universitaria” son las máximas causas inmediatas de estos desaciertos.

El proyecto PSSC se extiende a otras disciplinas, incluso otras naciones en el transcurso de los próximos años. J. Schwab, quien fuera el primer Director de la BSCS, señalaba ya en “The Teaching of Science as Inquiry”¹⁸⁹ que “la educación de la ciencia debía ser diseñada de modo tal que se aprendiera investigando dentro de la investigación y no mediante conclusiones retóricas, esto es enseñando qué deberíamos saber”.

¹⁸⁹ Citado por Duschl (op cit)

A cincuenta años Zacharias y su proyecto permanece como el ejemplo más profundo y sostenido de actualización curricular en la historia de la ciencia.

4.1.1 Medio siglo en el currículo en ciencias. De la sociedad postindustrial a la sociedad del conocimiento.

La suma de los conocimientos humanos y la complejidad de sus problemas están en progresión creciente: por ello, cada generación debe revisar detenidamente sus métodos educativos, si quiere renovarse.

Bertrand Russell

En el transcurso del último medio siglo, la concepción de la ciencia y los métodos y estrategias para enseñarla, han experimentado un cambio enorme. Este cambio apunta hacia:

- el alejamiento de los métodos inductivistas ingenuos a favor de métodos de modelación-explicación,
- el cambio del aprendizaje como acto individual pasivo al aprendizaje como proceso activo y social,
- una transformación del papel del docente de administrador de comportamientos a director de las ideas de los estudiantes,
- un énfasis en la adquisición, procesamiento y análisis de la información por encima de la memorización mecánica.

El giro de los objetivos curriculares pretende cambiar el “qué queremos que los estudiantes conozcan y qué necesitan saber para conocer” hacia otra más dinámica y activa que parte del “qué queremos que los estudiantes hagan y qué necesitan conocer para hacerlo”.

La profunda revisión del papel de la educación en la década de los noventa del siglo pasado es provocada por el entorno social de la época marcada por:

- a) El fin de la Guerra Fría, y con ella, un reforzamiento de la democracia institucional y la disminución de conflictos regionales que propició un

crecimiento de la economía y el comercio. La Globalización asociada, comenzó a hacer que el mundo fuera uno solo. Roto el paradigma científico de la ciencia como herramienta de supervivencia bélica, era factible, sin ser acusados de “antipatriotas”, desarmar un currículo cuyo fundamental soporte era ya inexistente.

- b) Una revitalización de la educación en general y la científica en particular – al menos en cuanto a proyecto – con el surgimiento de programas tales como el Project 2061 (AAAS 1990)¹⁹⁰, los National Standar (NRC 1996)¹⁹¹, los retos educativos establecidos por la Década para el Desarrollo Sostenible de la Unesco (2005)¹⁹² y el compromiso de los gobiernos por favorecer este rubro, desde las llamadas Reformas hasta el aumento de los porcentajes del producto interno bruto dedicados a estos fines.
- c) El reconocimiento del paradigma constructivista que da fin, al menos ante el credo pedagógico de avanzada, al sitio del profesor como centro del proceso educativo. Se pone en tela de juicio el modelo educativo de las ciencias dirigido a la formación de científicos puros. Se resignifica la investigación educativa.
- d) Una revolución de los medios de cómputo, más potentes, más versátiles, más asequibles, hace que cambie la forma milenaria de comunicarnos, de acceder a la información, procesarla y almacenarla. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación asociadas a estos medios dan lugar a la más grande revolución cultural desde la invención de la imprenta. Estos cambios

¹⁹⁰ AAAS (1990): *Science for All Americans: Project 2061*. American Association for the Advancement of Science. Oxford University Press. New York.

¹⁹¹ National Research Council (1996): *National Science Education Standards*. National Committee on Science Education Standards and Assessment, National Research Council ISBN: 0-309-54985-X, 272, National Academies Press <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>

¹⁹² Congreso Internacional de Investigación Educativa (2005): *Compromisos educativos establecidos por la Década para el Desarrollo Sostenible*. Chile

socio-tecnológicos tienen un profundo impacto sobre la visión de la experimentación en varios sentidos. Los computadores, ahora complementados con sensores y transductores son los nuevos instrumentos medidores-modeladores- recopiladores- transmisores de una información en tiempo real que la Internet hace global. Con tecnología, educación y libertad ciudadana empezamos a ser dioses omnipresentes y omniscientes. O al menos, eso imaginamos. Marc Prensky¹⁹³ hace un incisivo análisis del efecto de estas nuevas tecnologías que arranca con este cuestionamiento: “Todos sabemos que la vida será muy diferente en 2100. ¿Lo será la escuela?”

La escuela y la iglesia son las instituciones que más han secularizado sus ritos. No hay materia más inerte que la materia gris.

- e) La necesidad de pronunciarse y actuar ante las contundentes evidencias de riesgos del ecosistema por la actividad humana. Aparecen nuevas relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente que cuestionan los objetivos y métodos de la educación en este sentido.

Los programas de evaluación internacionales PISA bajo la coordinación de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y el programa Bolonia, su equivalente para la enseñanza superior, son producto de este período.

De forma particular, la investigación educativa durante los últimos veinte años ha sido muy fructífera al abordar el papel que la experimentación debe jugar en la enseñanza de la ciencia. Figuras que el autor de esta Tesis considera protagónicas y pioneras en este período son Derik Hodson y Norman Lederman en Norteamérica, Avi Hofstein en Israel, Robin Millar y Daniel Gil Pérez en Europa y Leonor Colombo de Cudmani junto con Julia Salinas en Sudamérica. Ellos han creado, en cierto sentido, sus propias escuelas.

¹⁹³ Prensky, M. (2005): *Adopt and Adapt*. 21st-Century Schools Need 21st-Century Technology http://www.edutopia.org/magazine/ed1/article.php?id=Art_1423&issue=dec_05

Hodson, desde el Ontario Institute for Studies in Education en Toronto, ha dedicado su vida al trasfondo del currículo de la ciencia con obras tales como “*Curriculum Making in Science: Considerations in the History, Philosophy and Sociology of Science*” , “*Equity Issues in Science and Technology Education*” y “*The contribution of history, philosophy and sociology of science*” Su artículo de 1994, “*Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*” aparecido en la Revista *Enseñanza de las Ciencias* es una referencia obligada y un punto de partida para abordar lo que se ha hecho en Iberoamérica en cuanto al papel de lo experimental en la enseñanza de la ciencia.

Robin Millar, de la Universidad de York, GB, es editor de varios proyectos y de decenas de artículos relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de tópicos conceptualmente demandantes en la ciencia, el papel de la ciencia en el currículo, las implicaciones de la alfabetización científica como ayuda curricular, el trabajo práctico en la ciencia y la relación entre investigación y práctica en la ciencia de la educación.

Daniel Gil Pérez, catedrático de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universitat de València, España, marcó estas dos décadas con un nuevo enfoque de la investigación educativa desde perspectivas críticas, contribuyendo con decenas de publicaciones y tesis doctorales sobre didáctica de las ciencias en temas tales como la resolución de problemas, las preconcepciones de los alumnos, la evaluación, la naturaleza de las actividades científicas y tecnológicas, la atención de la educación científica a la situación del mundo y en particular, la didáctica de los trabajos prácticos y la incidencia de la experimentación en la formación científica. Su influencia en Iberoamérica ha sido muy notoria.

Leonor Colombo de Cudmani y Julia Salinas de Sandoval, del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, conforman un binomio muy estrecho de interrelación entre lo epistémico, lo didáctico y lo experimental en la enseñanza de la física. De gran significancia es el relieve que para estas investigadoras tiene la formación de un nuevo profesorado idóneo para ciencias. Salinas, autora de una tesis doctoral en 1994 sobre el trabajo práctico (*Las prácticas*

de Física Básica en laboratorios universitarios. Universitat de València) ha desarrollado un amplio esquema investigativo sobre la didáctica experimental.

4.1.2 ¿Qué debe contemplar el currículo de ciencias?

“Debemos comenzar por hacer una distinción: hay cualidades deseables para una parte determinada de la humanidad y hay cualidades deseables para todo el mundo... y de esas características universalmente deseables, hemos de ocuparnos”

Bertrand Russell

Si difícil es definir y encasillar el concepto de ciencia y su relación con lo empírico-racional, más lo debe ser establecer una guía curricular para desarrollar una enseñanza significativa de la ciencia. Esto es lo que, por consenso, solicita la sociedad progresista, una educación que promueva en los ciudadanos:

- a) La capacitación adecuada, según las necesidades e intereses de cada sociedad, para comprender y aplicar aquellos conocimientos mínimos necesarios que les permitan desenvolverse en el mercado laboral.
- b) El desarrollo de habilidades y destrezas instrumentales según las exigencias de cada currículo.
- c) Un entendimiento general de los métodos para adquirir, validar, refutar y limitar las teorías y resultados experimentales de la ciencia como competencia cognitiva.
- d) Una comprensión de los riesgos y bondades que la ciencia, la tecnología y la industria que la soporta, implican para la sociedad y el ambiente. Esta comprensión, será la base que les permita vivir como ciudadanos con voz libre y voto racional.

La promoción de valores y principios éticos en los que la ciencia se apoya: las normas y valores mertonianos¹⁹⁴ que conforman el *ethos* utópico del

¹⁹⁴ Merton, R. (1942): *The Ethos of Science en On Social Structure and Science*. Heritage of Sociology Series. Editor: Sztompka, P. The University of Chicago Press. On GB. ISBN 0-226-52071-4. 1996

científico, dado por el universalismo, el comunalismo, la originalidad y el escepticismo organizado.

Estos objetivos generales perfectamente pudieran relacionarse con los cuatro pilares de la educación según Delors¹⁹⁵, vinculándose fundamentalmente con el aprender a conocer y hacer, los tres primeros, y con el aprender a ser y vivir juntos, los dos restantes. En resumen: desarrollar el conocimiento científico y el conocimiento de la ciencia de modo tal que el ser social sea razonable, sustentable y responsable. En todo ello aparece un binomio irreducible: el individuo en la sociedad, una sociedad que ya es casi universal en cuanto a exigencias tecnológicas y científicas se refiere, que cada vez se hace más extendida en cuanto a la libertad para dirimir democráticamente – no siempre con razón de causa¹⁹⁶ –, que día a día se ve impelida a confiar y desconfiar de la ciencia. A esto ha de volverse en el epígrafe 4.5

¹⁹⁵ Delors, J. (2003): *La educación encierra un tesoro*. UNESCO ISBN: 84-294-4978-7 Ed. Santillana Madrid

¹⁹⁶ N. del A.: Ya hemos hecho referencia a nuestra convicción de que la verdadera democracia no estriba en el acto de emitir un voto, sino en el poder hacerlo en libertad y con razón de causa. Fernando Savater cita a Galbraith en este sentido:

En uno de sus últimos libros, John Kenneth Galbraith dijo una frase que me marcó y que lamenté no haber leído antes, porque la habría podido introducir en mi libro *El valor de educar*. Dice Galbraith: «Todas las democracias contemporáneas viven bajo el permanente temor a la influencia de los ignorantes». Éste es un punto para pensar, la democracia hace que todo el mundo tenga voto y por lo tanto los ignorantes —que desgraciadamente pueden ser muy numerosos— pueden bloquear las soluciones adecuadas, apoyar los integrismos, los populismos, las soluciones brutales, influir, en último término, en el sabotaje de la propia democracia que utilizan, pero la culpa no es puramente del ignorante, sino de quien lo ha mantenido en la ignorancia, de quien no ha luchado por romper esa cadena de ignorancia.

Las democracias de Nuestra América son ejemplos típicos. He ahí la importancia de la educación integral, que incluye ante todo los valores éticos y morales y a la ciencia como fundamento sobre la cual aplicar los primeros.

Savater, F. (1999): *¿De qué sirve la ética para los jóvenes?* La educación es el momento adecuado de la ética... Acto de Conferimiento del Doctorado Honoris Causa Jueves 29 de octubre de 1998. En *Ética y ciudadanía*, Caracas: Monte Ávila, 1999. <http://www.xtec.cat/~cciscart/annexos/savateretica.htm>

Pero en estos objetivos también aparecen, como es natural en toda intención humana, algunas incertezas, algunas intenciones que deberían resolverse desde lo prospectivo de un currículo que siempre llega tarde. Si bien la educación es la actividad humana que más fuerte tendencia de pronóstico exigiría, la historia y las crisis recientes en lo económico, lo político, lo ecológico y lo financiero, atestiguan que estamos muy lejos de haber acertado en cuanto a estos propósitos. Estas incertidumbres afloran a veces desde las diferencias en las interpretaciones, de los significados que pueden inferirse de los conceptos puros; otras de las diferencias entre lo planificado por los especialistas y lo desarrollado en el aula, otras de las incongruencias entre intenciones universales y posibilidades humanas y materiales de la base.

Intentemos enunciar algunas “tierras de nadie” en cuanto a la educación científica se refiere.

a) *¿Ciencia para Ser o para Hacer?*

Como consecuencia de las urgencias propias de nuestras microsociedades, se aprecia una tendencia a priorizar la capacidad científica de **hacer** sobre la capacidad científica de **ser**. Aquí hay dos tendencias: la primera que fundamenta la ciencia como necesidad pragmática para la tecnología; la segunda, que propone hacer de esa tecnología el hilo conductor de la enseñanza de la ciencia. Vinculada con este último enfoque, aparecen las propuestas de Casimir, no sólo como fin sino como vehículo de la educación:

“En mi opinión, la enseñanza de la Física en la escuela secundaria... debe llevar a la comprensión de la Física que sirve de fundamento a la vida diaria, y más específicamente a sus aspectos tecnológicos”¹⁹⁷

Pero más allá de la urgencia del Hacer y del uso extendido de lo tecnológico como motivante en la educación, al currículo se le hace muy difícil, con un solo molde, formar tanto a científicos, técnicos, políticos, artistas y sociólogos. La

¹⁹⁷ Casimir, H. (1976): *Education, physics and technology*, Physics Education, 11,1, Jan 1976

especialización comienza prácticamente en la cuna, en el entorno de la familia, sus necesidades y credos. Aun en la educación científica tecnológica, fuertes sesgos en estos criterios diferencian a los países, las universidades e incluso los programas dentro de una misma universidad según el nicho de mercado laboral, los costos o las exigencias en cuanto a competencias del currículo. La supervivencia obliga a una escuela técnica, a un diversificado, a que garantice el pan aunque trunque esa enseñanza integral que todos proclaman. Ya son – a sus diecisiete años – técnicos en programación, secretarios, maestros de primaria, contadores... en capacidad real de insertarse en el mercado laboral. Pero también están marcados de por vida por este crecimiento amorfo que les priva de las ventajas que confiere el conjunto de las artes liberales. El riesgo se hace notorio si, en última instancia, es posible que sea la capacidad científica de Ser la que garantice la salvación, la supervivencia del planeta que hoy tenemos.

b) *¿Ciencia para Todos o para Algunos?*

Si va a ser lingüista, ¿para qué necesita la Termodinámica? La pregunta no es simplista ni la respuesta sencilla. En ella están involucradas tendencias de carácter histórico, epistemológico, pragmático y teleológico de la educación. Desde hace mucho tiempo ha imperado el paradigma de que la educación básica debe suministrar un fundamento común para toda la población con independencia de la especialidad posterior que el estudiante pretenda seguir. Así, en 1893, *The Committee of Ten*, establecía:

“La Conferencia unánimemente declara que todos los temas que se enseñan en la escuela secundaria deben enseñarse de la misma forma y en la misma medida a todos los alumnos mientras que lo curse, sin importar cual pueda ser el destino probable del alumno, o en qué punto cese su educación.”¹⁹⁸

Según el National Council of Teachers of Mathematics y el National Academy of Sciences, sólo mediante una buena preparación científica de los estudiantes podrán

¹⁹⁸ National Education Association (1894): *Report of the committee of ten on secondary school studies with the reports of the conferences arranged by the committee*. American Book Company. New York.

estos estar preparados para las demandas del cambiante mundo social y laboral en el que han de vivir. Para ello, las principales organizaciones educativas se han dado a la tarea de participar en una reforma educativa que persigue reconstruir los estándares, el currículo, las evaluaciones y las estrategias de enseñanza para lograr alcanzar las necesidades de todos los estudiantes. Ciencia para Todos es el imperativo de este nuevo esquema de validez universal. Osborne¹⁹⁹ recalca la necesidad de este universalismo cuando enfatiza que “este estatus básico de la enseñanza de la ciencia sólo puede justificarse si la enseñanza de la ciencia es vista como algo que ofrece un valor universal para todos”.

Pero más allá de esta necesidad económica y pública, la equidad es igualmente importante como asunto moral. Jarrett et al²⁰⁰ señalan como realidad contundente que en Estados Unidos de Norteamérica existe “una persistente infrarepresentación de las mujeres y la gente negra en la educación en ciencias y matemáticas”. En una sociedad justa todos deben tener la oportunidad de aprender ciencias con independencia de género, raza, culto o nivel socioeconómico, ya que este conocimiento es una “herramienta esencial para las oportunidades de desarrollo, seguridad esencial e igualdad”.²⁰¹ Otro tanto pudiera decirse para cada uno de los sectores desfavorecidos de Nuestra América.

Los principios humanistas son axiomáticos al respecto y no debería haber la menor duda en cuanto a la pertinencia y obligatoriedad de una Ciencia para Todos. Desde el *Quadrivium* medieval hasta los modernos *Pensa*, la ciencia tiene un sitio de honor. Al fin y al cabo ella es una de las *artes liberales*, ese conjunto de conocimientos para desarrollar habilidades y capacidades de pensamiento racional más allá de la importancia posterior que pudieran tener en cuanto a lo vocacional, lo

¹⁹⁹ Osborne, J. (2009): *What School Science for K-8?* The Board on Science Education (BOSE). National Academy of Sciences (NAS). Washington, D.C.

²⁰⁰ Jarrett, D. (1997): *Science and Mathematics for All Students. It's Just Good Teaching.* A publication by the Science and Mathematics Education Unit in cooperation with the Center for National Origin, Race, and Sex Equity. Inquiry Based Science.

²⁰¹ Tate, W. (1994): *Race, retrenchment, and the reform of school mathematics.* Phi Delta Kappan, 75(6), 477-484.

técnico o lo estrictamente científico.²⁰² Explorar, experimentar, investigar y descubrir la ciencia por si mismo es un derecho de cada estudiante y una obligación de la sociedad de hoy para con la sociedad del mañana. Pero allende la certeza de equidad, se encuentra la posibilidad real de suministrar un mínimo común aceptable, sin caer en el extremo de pretender convertir en científico a cada ciudadano. Como bien señala Osborne,

“...una verdad contundente sobre la ciencia es que ella es desarrollada por una fracción muy pequeña de la población. El total de todos los científicos e ingenieros titulados es sólo un pequeño porcentaje de toda la población de los países desarrollados. Entonces, el objetivo principal de la educación científica general no puede ser entrenar a esta minoría que hará ciencia”.²⁰³

La educación en ciencias no puede operar como filtro detector de talentos sino como herramienta de formación para la vida, como promotora de una alfabetización científica. El autor de esta Tesis considera que todos los humanos, en mayor o menor medida, somos capaces de apreciar las grandes contribuciones de la cultura, bien sean en el campo de la música, las artes plásticas, la geometría o la mecánica cuántica. Claro está que esta apreciación, como todo acto cultural, exigirá cierta inversión de la sociedad sobre el individuo. El punto acá, es que de nuestra diversidad y de las limitaciones materiales obvias, es evidente que no todos podemos interpretar a Mozart... ni tener un piano de cola en nuestras casas. ¿Quién decide cuál de nuestros niños, incluso cuál de nuestros adolescentes será genetista y cuál mercadotécnico, quién puede garantizar que el estudiante que cierra con *suma*

²⁰² N. del A.: Este puede ser un buen lugar para insertar la propuesta del Dr. Olmedo España en cuanto a las destrezas y singularidades en lo cognitivo que trae aparejada, al parecer, la formación científica. ¿Qué ventajas concretas, desde el punto de vista cognitivo, ofrece la educación en ciencias? ¿Hace a los jóvenes más perceptivos, más analíticos, más disciplinados? Ya Comenius hablaba de estos hábitos extendibles a toda la vida cuando expresaba: “Esta constancia en la atención, afirmada con el uso de algunos años, hará al adolescente sumamente vigilante para todas las necesidades de la vida”. El tema es fascinante.

Comenio, J. (1998): *Didáctica Magna*. Editorial Porrúa. Octava edición. México, 1998

²⁰³ Osborne, J. (2004). *Science and Technology: What to teach?* In M. Michelini(ed.) *Quality Development in Teacher Education and Training* (pp. 69-84). Udine: Forum. Citado por Millar (2009)

cum laude no sea un profesional mediocre? ¿Quién decide, con razón de causa local, qué competencias harán libre a este ciudadano del mañana?

Afloran aquí dos injusticias. La primera, al negar a todos la posibilidad de descubrir ante todo, y desarrollar después, esas potencialidades innatas. La segunda, al acotar a aquellos que por cuna²⁰⁴, supuestamente serán portadores del éxito.

Cuando el objetivo primero de la cobertura con calidad se alcance, tendremos por delante el trabajo mayor: una orientación vocacional científica para la ciencia y la educación toda. Quizás entonces nuestro continente deje de ser matriz de jornaleros, matriz de una intelectualidad constituida por artistas, mercaderes y abogados para abarcar un espectro más amplio de biólogos, matemáticos, físicos y químicos.

c) *¿Lo mismo para todos?*

Esta pregunta está en el centro del debate educativo contemporáneo. Es obvio que no se puede enseñar la misma ciencia para intereses personales y sociales tan diversos, pero la pregunta es qué y cómo enseñar a ese minúsculo 96% de la población que no operará en las líneas de la ciencia.²⁰⁵

²⁰⁴ N. del A.: En METAS EDUCATIVAS 2021 (UNESCO / OEI, 2008) aparece un estudio en dieciséis países de América Latina realizado por Siteal IPE (2008), que recoge la situación de la enseñanza en jóvenes de 20 años de edad con el nivel secundario completo. Sólo el 48% de ellos lo logra, pero de este porcentaje, el 94% pertenecen a aquellos que tienen un clima educativo de hogar alto. Hablando claro: clase económica alta. La situación para Guatemala es aún más crítica. Únicamente el 15.8% tendría certificación para ingresar a la educación superior, pero de estos sólo el 2.2% pertenecen a un clima educativo de hogar bajo. No hay duda alguna: la cuna sigue marcando el destino.

²⁰⁵ N. del A.: Justo en estos momentos, se desarrolla un fuerte debate en la prestigiosa revista *The Physics Teacher*. ¿Qué debe enseñarse y cómo debe enseñarse en los cursos de física para estudiantes que no seguirán carreras científicas, esto es, la enorme mayoría de la población norteamericana?

Sobel propone, desde una concepción pragmática, una física ligera, aunque no sólo conceptual, puesto que usa matemática. Sólo que la matemática es sólo operativa y repetitiva. Hacer otra cosa es perder el tiempo.

Lasry, Finkelstein y Mazur contraatacan de inmediato respondiendo que lo conceptual no es superficial, que no hay evidencia, desde la base de la teoría cognitiva, para proclamar que estos no-científicos no han de usar la ciencia, una ciencia que es inseparable de la matemática más allá del aspecto de cálculo numérico. Y usted, ¿qué piensa?

Sobel, M. (2009): *Physics for the non-scientist: A middle way*. DOI: 10.1119/1.3204113. *The Physics Teacher*. Vol 47, September 2009.

Lasry, N.; Finkelstein, N.; Mazur, E. (2009): *Are Most People Too Dumb for Physics?* DOI: 10.1119/1.3225498. *The Physics Teacher*. Vol. 47, October 2009.

No puede confundirse equidad con igualdad. Los mínimos en ciencia que se recogen en los llamados estándares nacionales son sólo eso: mínimos basados en paradigmas sociales y sus pronósticos, en el mejor de los casos, y copias amañadas de lo que piensan norteamericanos y europeos en la mayoría. Aun así, y con fundamento en el consenso de lo que la educación general universal debería lograr en cuanto a conocimiento básico, perspectivas, técnicas y estrategias de investigación etc., queda mucho por delimitar en cuanto a cómo deben gradarse estas capacidades en la enseñanza preuniversitaria y universitaria. De importancia relevante son los recursos destinados a la experimentación. ¿Cómo gradar la experimentación que los alumnos han de requerir? ¿Cómo garantizar los equipos modernos, las instalaciones, las técnicas para que todos tengan esta oportunidad?

Maienschein (2004) formula las siguientes preguntas que, siendo del ámbito curricular, desbordan hacia la sociedad toda.

“¿Se necesita la experimentación en ciencias más que de lo que se necesita tocar un instrumento musical? ¿Debe ser un objetivo para todos o para algunos?... y si ese fuera el caso, ¿con cuál sistema de elección? Al parecer hay muy pocas investigaciones sólidas en este campo.”²⁰⁶

En la mayor parte de los países desarrollados el sistema es piramidal, comenzando con un nivel común de experiencias y capacidades comunes para toda la población estudiantil, que por “selección natural” va transitando a comunidades de aprendices y auxiliares a investigadores adjuntos. Cada salto en esta pirámide implica cuantiosos recursos humanos y monetarios y la aplicación de un sistema de filtraje que muy frecuentemente se ve determinado por la capacidad de pago y no por el talento.

No hay forma real, por el momento, de satisfacer este recorrido experiencial para toda la población y los lemas se hacen más sugerentes al sustituir el esquema

²⁰⁶Maienschein, J. (2004): *Laboratories in Science Education: Understanding the History and Nature of Science*. The National Academies Press (NAP). Washington, D.C.

comunista “que ningún niño quede atrás”²⁰⁷ de George W. Bush, por otro socialista, más práctico y aun terriblemente lejano: “sé todo lo que puedas ser”.

Un análisis sociocultural del trasfondo político de tales doctrinas igualitarias es hecho por James Palermo²⁰⁸, de la Buffalo State University of New York en un artículo en donde analiza el mito de la oportunidad para una educación igualitaria fundada en currículos adaptativos, con fuerte componente de necesidad local, pero invalidante cuando se pretende converger al resto del sistema educativo.

El proyecto británico “Twenty First Century Science”²⁰⁹, de la Universidad de York persigue resolver estos dilemas mediante currícula paralelas en donde se gradan contenidos y amplitudes en dependencia de las actitudes y capacidades individuales. La propuesta, nada nueva si analizamos la herencia de Dewey, implica considerar un currículo cuya suma de experiencias garanticen a cada estudiante, según sus capacidades y necesidades, un desarrollo integral. Pero este tipo de proyecto implica extrema tensión en su aplicación. Como bien advierte Posner:

“...el enfoque experiencial de la educación es muy exigente... desde el punto de vista práctico, ya que supone que el currículo es más o menos similar ...al proceso de vida y que no hay dos individuos que puedan o que deban vivir precisamente la misma vida”²¹⁰

En suma un currículo personalizado, dinámico, centrado en cada sujeto cognoscente según sus necesidades e intereses es arto deseable pero repleto de contratiempos en nuestra escuela colectiva.

²⁰⁷ Congress of United States (2002): *The No Child Left Behind Act of 2001* (Pub.L. 107-110, 115 Stat. 1425, enacted January 8, 2002). Proposed by the administration of President George W. Bush

²⁰⁸ Palermo, J. (2000): *Reading Mann and Cubberley on the Myth of Equal Educational Opportunity: A Barthesian Critique*. Philosophy of Education.

²⁰⁹Universidad de York (2009): “*Twenty First Century Science*” The University of York. Science Education Group. <http://www.21stcenturyscience.org/>

²¹⁰ Posner, G. (1998): *Análisis de Currículo*. ISBN: 958-600-891-6. Ed. McGraw-Hill. Colombia.

d) *¿Pueden las habilidades experimentales concretas ser extrapoladas, ser útiles en otras áreas?*

Fuertes críticas se hacen al desarrollo de destrezas desde dos perspectivas (Hodson²¹¹; Praia,²¹²): la primera en el sentido de que no resulta ético educar en aquello que sólo una minoría ha de necesitar; la segunda sobre la base de la baja eficiencia de los cursos experimentales para desarrollar esas capacidades.

Hodson se cuestiona

“...en qué sentido la habilidad para usar correctamente una pipeta y una bureta, haciendo un análisis volumétrico, es transferible a un contexto de laboratorio en el que se va a emplear un osciloscopio o un microscopio, o en el que se va a diseccionar un ave” (op cit)

Sin embargo, el desarrollo de las modernas teorías cognitivas indica que los organismos requieren de experiencias desencadenadoras en determinados períodos críticos de la vida, más allá de los cuales estas capacidades no se desarrollan de igual forma. Sin saber exactamente cómo, existe el consenso de que la verdadera educación tiene que ser integral, proveyendo al ciudadano de una base cognitiva cuyo uso específico concreto pueda ponerse en duda.

La pregunta es, ¿cuáles son estas experiencias en el caso de los humanos que permitan un desarrollo adecuado en cuanto a la ciencia se refiere? Plantar árboles, montar circuitos, ensamblar dispositivos, suturar heridas, manejar paquetes ofimáticos, preparar soluciones químicas, evaluar eficiencias energéticas, cultivar bacterias... son experiencias que tienen que ser incluidas conjuntamente con otras muchas de las artes y el desarrollo del cuerpo físico.

²¹¹Hodson, D. (1994): *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Revista Enseñanza de las Ciencias, 12, 299-313.

²¹²Praia, J. (1997): *Lab work in teaching Geology: critical reflection and epistemologic didactic bases*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (5.2), 95-106 ISSN: 1132-9157.

Por su parte, Eisner²¹³, el afamado curriculista, advierte además la diferencia entre estímulo en animales y humanos, porque el carácter constructivo de la percepción no depende sólo del estímulo sino de la experiencia previa, señalando pruebas contundentes en este sentido asociadas a Shepard²¹⁴, Pylyshyn²¹⁵ y Bruner²¹⁶. Eisner atribuye estos errores a la percepción extendida de que “el uso de los sentidos se suele considerar como no intelectual... exigiendo poco del pensamiento o de la inteligencia humana”. En nuestra opinión, lo empírico problémico requiere tanto destrezas manuales como intelectuales y siempre de saberes muy variados.

Por otro lado, las destrezas y habilidades fácticas han sido y serán imprescindibles para la vida social de todos los tiempos. Las herramientas manuales evolucionan, no desaparecen. Del estilo cuneiforme al mouse óptico, del pedernal al láser; la pinza de prehensión digital sigue siendo la misma como rasgo distintivo de nuestra especie.²¹⁷ Esas capacidades y manualidades fácticas son social e históricamente

²¹³ Eisner, E. (1998) *Las fuentes de la experiencia en Cognición y currículo. Una visión nueva*. ISBN 950-518-803-X ed. Amorrurtu. Buenos Aires.

²¹⁴ Shepard, R. (1982): *Mental images and their transformation*. Cambridge, MA: MIT Press.

²¹⁵ Pylyshyn, Z. (1986): *Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.

²¹⁶ Bruner, J. (1990): *Acts of Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press

²¹⁷ N. del A.: Lo que si resulta curioso es la aparición de una nueva forma específica para el uso del pulgar, el pseudo dedo al que le falta una falange y a través del cual nos es permitida la oposición. Esta diferenciación sostenida, permitió el tránsito, durante cuatro millones de años, de homínidos a erectus a habilis a sapiens. El hombre sigue mostrando, evolutivamente hablando, su característica más prominente: su enorme adaptabilidad al entorno.

determinadas, si bien es cierto que, como resultado de la evolución intempestiva de la tecnología, lo social local y lo histórico se funden en un entorno globalizado. En solo una generación se ha pasado de la regla de cálculo y la escala analógica, al sensor inalámbrico y los cascos digitales.

En nuestro continente, si se analizara desde la perspectiva sistemática, lo que prima es una dicotomía entre lo empírico y lo teórico que niega esa unidad de la ciencia que tanto se preconiza desde su fundamento epistemológico. No es raro encontrar jefes de obra analfabetas e ingenieros graduados que nunca han cortado con una sierra de mano. La crítica de Vesalio sigue siendo válida. Los extremos se besan en Macondo.

En contra de los que claman contra la ineficacia de enseñar un trasvase, una disección, un injerto, un ensamble de un circuito básico, está la visión histórica de que, detrás de los grandes científicos, aun de aquellos de “manos torpes”, se encontraba ese “saber hacer” a partir de destrezas no excluyentes sino complementarias. Josephsen²¹⁸ respalda este tipo de conclusiones en un minucioso artículo en donde describe la influencia de experiencias previas en el programa NSBS (Natural Sciences Basic Studies) sobre el desarrollo del trabajo experimental en la química universitaria de estudiantes daneses. La integralidad del ser humano vuelve a sobreponerse sobre las tendencias fragmentarias.

Por añadidura, la historia está repleta de ejemplos en donde grandes teóricos son al unísono, buenos experimentadores. Newton pule los espejos con gutapercha, Boyle

Torpe y solitario, el fortachón del grupo, el gordo que sólo servía de respaldo para el resto – y para matar pulgas – se ha convertido en el digitalizador de los dispositivos manuales. Una generación « cangrejo » adiestrada en el uso de controles remotos, celulares, mp3 y joysticks, ha arribado moviendo sus pulgares como tenazas de violinistas. Cuatro millones de años de evolución se trastocan en sólo veinte años. A esa velocidad se está viviendo. Si el lector de esta Tesis tiene más de cuarenta años, intente imitar a un adolescente enviando mensajes de texto. Esta es la prueba más fehaciente de la necesidad de pensar, educativamente hablando, en el desarrollo de estas destrezas y habilidades que pueden separar a un humano de su contexto social.

²¹⁸ Josephsen, J. (2003): *Experimental training for chemistry students: does experimental experience from the general sciences contribute?*. Chemistry Education: Research and Practice. 2003, Vol. 4, No. 2, pp. 205-218

supera a los franceses cuando sustituye pistones de cuero por columnas de mercurio, Gauss construye el telégrafo, Thomson resuelve los problemas de Hertz cuando calienta los tubos de rayos catódicos durante el vaciado. Einstein, el cerebro más afamado de la ciencia del siglo XX, era un pésimo violinista y un marinero de lagunas; pero no hay forma de despejar el efecto que sobre su integralidad racional hubiera tenido la ausencia de estas “destrezas”. Cuando los científicos eran filósofos y técnicos, tales divisiones entre lo empírico y lo teórico eran muy sutiles.

Habrá que pensar cuáles experiencias son necesarias para alcanzar la integralidad propuesta.

e) *¿En qué medida ciencia y naturaleza de la ciencia han de complementarse en el currículo?*

Lo epistémico en la ciencia es un objetivo primordial de la educación moderna aceptado por amplio consenso. De hecho es imposible enseñar ciencia sin transmitir, aun de forma subliminal, un determinado contexto epistemológico sobre su construcción. La dificultad estriba en que este objetivo no puede abordarse por separado en la educación convencional, como si fuera una primera unidad didáctica del texto y no más. Severos problemas de sesgo, inconsistencia e incompletitud aparecen cuando se intenta hacer de esta forma. La naturaleza de la ciencia debería enseñarse junto con la propia ciencia, como partes orgánicas de un mismo constructo. Lo más común en nuestras aulas es que prime el conocimiento sobre su naturaleza. La filosofía²¹⁹ está exenta en cursos sobre Máquinas Térmicas. Pero como ya se ha señalado, tan importante puede llegar a ser el conocimiento de la ciencia como el conocimiento de su naturaleza. Driver et al²²⁰ reiteran los argumentos para la enseñanza en cuanto a la naturaleza de la ciencia:

²¹⁹ N. del A.: La filosofía, no la filosofía de la ciencia, convenientemente matizada según niveles y especialidades, debería ser parte integral de toda carrera. Tan problemático es cercenar la ciencia de la filosofía como la filosofía de la ciencia.

²²⁰ Citado en: Millar, R. et al (2000): *Improving Science Education: The Contribution of Research*. Robin Millar, John Leach y Jonathan Osborne (editores), ISBN 0 335 20645 X Open University Press, Buckingham y Philadelphia.

- Un argumento utilitario: una comprensión de que la filosofía es necesaria si la humanidad ha de tener sentido de la ciencia para manejar los objetos y procesos tecnológicos que encuentra en la vida cotidiana.
- Un argumento democrático: La comprensión de la naturaleza de la ciencia es imprescindible si la gente requiere hallar sentido en los asuntos socio-científicos y participar en el proceso de toma de decisiones.
- Un argumento cultural: es necesaria una comprensión de la naturaleza ciencia para apreciar la ciencia como uno de los elementos más relevantes de la cultura contemporánea.
- Un argumento moral: La comprensión de la de la naturaleza ciencia puede ser útil para advertir los riesgos de la propia ciencia, en particular las normas de la comunidad científica y sus compromisos morales que deben ser de valor general.
- Un argumento de aprendizaje: La comprensión de la naturaleza de la ciencia soporta un mejor aprendizaje de los contenidos de la ciencia.

No hay un solo objetivo de la educación científica que no pueda ser vinculado con uno o más de los argumentos citados, pero esto no aparece de forma explícita y sistémica en los currícula. El papel que la enseñanza experimental puede jugar en este sentido será contemplado a continuación.

4.2 La enseñanza significativa y la didáctica experimental.

Lo fundamental es encontrar los tipos de experiencia que valga la pena tener, no meramente en cuanto a cantidad, sino por lo que pueden ofrecer: los problemas que plantean, los interrogantes que generan, las exigencias de mayor información que sugieren, las actividades que invocan, los horizontes más amplios que abren continuamente.

John Dewey

Numerosos han sido los trabajos educativos dirigidos a analizar, criticar y reorientar el papel de la experimentación en la enseñanza contemporánea de las ciencias. La simple interacción con objetos no garantiza la experimentación significativa. Experimentar, en nuestro contexto, significa experiencia deweyana. La experiencia es lo trascendente del evento. En esta trascendencia es donde se hermanan lo objetivo y lo subjetivo del saber.

En muchas ocasiones han surgido malentendidos justo por interpretar el término desde diferentes perspectivas. En esta Tesis se entenderá por experimentación – en el ámbito de la educación de las ciencias – aquellas actividades en donde el estudiante se involucra activa y racionalmente en la observación, manipulación o medición de objetos o procesos reales (materiales) de estudio. Este enfoque es concordante con el dado por el National Research Council ²²¹ en su *America's Lab Report* en donde la experimentación, es entendida como la interacción, más o menos directa con el mundo real, que involucra al estudiante en la observación, manipulación, medición y modelación de esta realidad.

Adviértase que no hay mención explícita ni a un lugar, ni a “un Método”. La visión de la experimentación como actividad a desarrollarse exclusivamente en el

²²¹ National Research Council (2006): *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, Editors: S.R. Singer, M.L. Hilton, and H.A. Schweingruber. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education: The National Academies Press. Washington, DC

laboratorio ha sido totalmente superada en los países desarrollados. La experimentación traspasa el laboratorio, ese «recinto cerrado en donde los estudiantes usan batas y equipo especial para desarrollar procedimientos preestablecidos», y se abre ahora, intentando llevar la formulación de interrogantes, el compromiso social, la comprensión de la dinámica de la investigación científica y el vínculo entre las dos entidades cognitivas que llamamos teoría y práctica, a la realidad toda. El consenso en este sentido es casi universal.

El *Committee on High School Science Laboratories* de Estados Unidos de Norteamérica da una definición funcional de la experimentación como «experiencias que brindan oportunidades para los estudiantes de interactuar con el mundo material (o con datos extraídos del mundo material), usando las herramientas, técnicas de recolección, modelos, y teorías de la ciencia».²²²

Por otro lado, la definición excluye cualquier otro material de simulación o apoyo preparado con fines didácticos que separe a los estudiantes del mundo real. Si bien admite las bases de datos²²³, las fotos astronómicas y cualquier otra evidencia material recolectada, excluye tácitamente la simulación computacional, o los problemas teóricos de lápiz y papel. Este aspecto es de tal relevancia epistémica que será abordado por separado. (Véase el epígrafe 4.3)

²²² Eisenkraft explica que el primer objetivo del Comité fue precisamente llegar a un consenso de qué entender por experiencia en el ámbito educativo de las ciencias.

Eisenkraft, A. (2007): *Improving the Laboratory Experience for America's High School Students*. USA Congressional Testimony. The Subcommittee on Research and Science Education, of the House Committee on Science and Technology.

²²³ N. del A.: La experimentación didáctica no siempre permite a los estudiantes registrar los datos de forma directa, sino que implica el análisis de datos provenientes de grandes bases de datos cuya recopilación generalmente requiere años e incluso siglos. Los estudios sobre cinética astronómica, dinámicas de poblaciones, cambios climáticos, etc., son ejemplos de tales experimentaciones.

4.2.1 ¿Qué puede y qué debe propiciar una buena educación científica experimental?

A esta pregunta se responde generalmente desde dos perspectivas: una epistemológica y otra didáctica. Como es de esperar, estos enfoques muy frecuentemente se diluyen el uno en el otro. Si lo epistémico marca el qué y el para qué, lo didáctico marca el cómo, el cuándo y el dónde de estos sistemas y métodos prácticos de enseñanza, destinados a plasmar en la realidad las primeras pautas.

Epistemológicamente, una buena educación experimental debe propiciar la comprensión de:

- a) el conocimiento de la ciencia como cuerpo de conocimientos, destrezas, capacidades y procedimientos y técnicas que conforman el acervo científico.
- b) el conocimiento sobre la ciencia como métodos para adquirir, validar o refutar estos conocimientos

Desde el punto de vista didáctico estas mismas experiencias científicas deben propiciar:

- a) un incremento en el nivel de dominio sobre el tema teórico experimentado, esperándose habitualmente un reforzamiento de la motivación por:
 - i- la vinculación de la teoría con la práctica,
 - ii- el carácter más activo de la enseñanza dado por la manipulación la observación, la medición y el análisis crítico.

Mantener despiertos e interesados a los estudiantes y propiciar el aprendizaje significativo es el santo grial de todo profesor de ciencias. Varias estrategias didácticas han sido empleadas para lograrlo desde hace mucho tiempo. Una de las técnicas más frecuentemente esgrimidas en este intento es la experimentación. Los experimentos, especialmente cuando están relacionados con la realidad inmediata o las aplicaciones de fenómenos que los estudiantes encuentran en la vida cotidiana, están ampliamente acreditados para mejorar la actitud y el desempeño de los estudiantes de ciencia.

- b) el desarrollo de habilidades y destrezas en el manejo experimental tanto en el registro como el procesamiento de la data.
- c) el fomentar un enfoque multidisciplinario y en particular el uso de la matemática, la informática, la modelación, la estadística y otras herramientas de exigencia cotidiana en la sociedad contemporánea.
- d) un marco social para compartir, exigir, colaborar, presentar, defender y criticar el producto de tales experiencias, y por último
- e) la apreciación de forma directa de la naturaleza, los riesgos, la complejidad, la ambigüedad del trabajo experimental y su vinculación dialéctica con lo teórico racional.

Ninguna experiencia aislada puede, por si sola, ser capaz de satisfacer tan complejos propósitos, de modo que el cuidadoso diseño de toda la experimentación en el currículo y su acertado acoplamiento con otras formas de enseñanza serán la clave para propiciar tal educación.

De aquí se infiere que la enseñanza experimental es un proceso mediato, difícil de planificar, de particularizar, de comprender y evaluar. Refiriéndose a estas complejidades Millar²²⁴ acota lo difícil y delicado de desarrollar a cabalidad una experiencia típica. Los grandes olvidos didácticos a la hora de considerar el trabajo experimental están asociados con:

- a) La data puede ser incompleta, imprecisa, incorrecta o mal procesadas dada la inexperiencia en los procedimientos manuales propia de los neófitos.
- b) Los estudiantes no pueden llegar a las conclusiones esperadas aun con datas adecuadas y correctamente procesadas. El análisis y la interpretación son procesos teóricos, imaginativos, no inmediatos, no lineales, dependientes de la cultura individual y grupal y mucho más difícil de establecer que la mera recopilación de síntomas o cifras. Tal y como ocurre en la interpretación de figuras gestalias, muy rápido olvida el vidente – el docente en este caso –

²²⁴ Millar, R. (2004): *The role of practical work in the teaching and learning of science*. University of York. Paper prepared for the Meeting: High School Science Laboratories: Role and Vision National Academy of Sciences, Washington, DC.

lo difícil de interpretar adecuadamente una evidencia que para él resulta evidente²²⁵. Para el instructor, la respuesta es obvia. Su cultura le permite interpretar, ver, observar y concluir aquella respuesta concordante con el paradigma teórico vigente.

- c) El marco psicoeducativo es totalmente diferente al marco psicoinvestigativo. En la experimentación educativa casi nunca hay enigma, sino situación problemática. El supuesto enigma que involucra la investigación, no lo es en el acto educativo ya que el aprendiz “sabe” que existe una solución predefinida que debe ser alcanzada para que su proyecto sea exitosamente evaluado. También “sabe” que el profesor “sabe”. La situación es tan tentadora como la de resolver el crucigrama sabiendo que la solución está en la próxima página. Docente y estudiante son parte de un binomio de larga tradición histórica: en la enorme mayoría de los casos, el alumno espera que le indiquen, paso a paso, qué debe hacer para alcanzar ese resultado deseado; en la enorme mayoría de los casos, el docente se acerca al resultado contrastante buscando aquello que fue mal ejecutado, aquello que no funciona adecuadamente y nunca en pos de un hecho que refute la teoría establecida. Se busca el cable suelto, el termómetro mal colocado, la lectura errónea. La experimentación es comprobatoria, no exploratoria. Hay alguien que sabe, cree el aprendiz; eso es lo que tiene que dar piensa el instructor, y

²²⁵ N. del A.: De la Vida Real. En un curso sobre Técnicas de Investigación, un grupo de estudiantes de Odontología obtienen experimentalmente y modelan matemáticamente una curva tensión-deformación para anillos elastómeros de ortodoncia. Los estudiantes, según el paradigma impartido, buscan aquel modelo que presente la r^2 más próxima a 1. Pero, para desconcierto de los estudiantes, pronto el profesor detiene el autodescubrimiento para descartar una regresión cúbica y otra logarítmica. El ajuste será lineal aunque su r^2 sea la peor. Los criterios de selección nada tienen que ver con el ajuste, sino con la teoría hecha paradigma.

De todo esto se infiere un quiebre entre lo constructivista del discurso curricular, con centro en el estudiante, y una práctica tradicional normativa, taxativa, reproductiva y pasiva, en donde todos los actores buscan llegar a esa “verdad” que el contenido dicta. Puede que la educación no sea bancaria en el sentido freiriano tradicional, pero lo tradicional y conductista ocurre siempre dentro del paradigma imperante. Chadwick²²⁷ señala alguno de estos contrapuntos.

La experimentación se trueca entonces en un transmitir un hacer en donde el instructor da la cuartilla, la receta, y el alumno acata e imita hasta que logra llegar al resultado deseado. Se enseña sólo ciencia normal. El saber hacer, ya construido, se replica.²²⁸ ²²⁹ La ciencia se hace receta. Una de las propuestas de esta Tesis, como ha de verse más adelante, se enfoca en intentar resolver – o al menos mitigar – las discrepancias en cuanto a una enseñanza experimental significativa y las restricciones que la organización de la escuela impone en la práctica cotidiana.

²²⁶ Lamo de Espinosa (1994) señala al respecto:

“Existe una relación directa entre ciencia normal y educación científica. Los libros de texto y las prácticas pedagógicas son los vehículos para la perpetuación del paradigma e inician a las personas en la ciencia normal. Igual que el aprendizaje de la música, la educación científica espera producir el máximo rigor, disposición mental y habilidades posibles. La educación es un proceso que enseña a resolver rompecabezas con recursos ya conocidos”

Lamo de Espinosa, et al: *La sociología del conocimiento y de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid. 1994.

²²⁷ Chadwick, C. (2005): *¿Por qué no soy constructivista?*. <http://contexto-educativo.com.ar/2004/2/nota-08.htm>

²²⁸ N. del A.: En el llamado Papiro de Rhind (López 2006), Ahmes el escriba decía:
"Resta al diámetro $\frac{1}{9}$ del mismo, que es 1. La diferencia es 8. Ahora multiplica 8 veces 8, que da 64. Éste es el área del círculo"

Lo significativo y trascendente se borra detrás del interés utilitario de la situación problémica. Para Ahmes, lo importante no es el cómo sino la certeza del cuánto. Tal y como se hacía hace casi cuatro milenios, la ciencia se sigue enseñando por comprobación numérica, por verificación pragmática.

²²⁹ López, F. et al (2006): *Las Matemáticas en el Antiguo Egipto*, en *La Tierra de los Faraones* www.egiptologia.org

Hay, además, cierto reforzamiento proveniente de lo cultural contemporáneo. Nuestros jóvenes son digitales y mucho de su cultura lleva implícito el sello de lo conductual, muchas las tendencias que condicionan la fijación de estos procedimientos algorítmicos, lineales y de absoluta rigidez. Cada compra en línea, cada trámite, cada recurso bajado, exige la rigidez de un llenar casillas e introducir códigos *step by step*. El humano se conduce como oveja en rebaño, se hace mecánico ante la máquina. La cultura del *Nintendo* enseña a reaccionar, a mover pulgares, no a pensar. El avance de la digitalización también tiene un precio.

Si toda enseñanza es dogmática, si el dogma de la ciencia es el antidogma, la pregunta clave es qué hacer para que la experimentación no se perciba como acto reflejo o como sortilegio.

4.2.2 ¿Está totalmente justificado lo experimental desde el punto de vista didáctico?

Puesto que el tema de estudio de la ciencia es el mundo material, parece natural y hasta bastante obvio, que el aprendizaje de la ciencia involucre ver, manipular y operar objetos reales y materiales y que la enseñanza de la ciencia involucre tanto actos de « mostrar » como de « decir ».

Robin Millar

Supóngase que se intenta justificar la experimentación en la enseñanza a partir de esos dos puntales epistémico-didácticos ya abordados: el conocimiento de la ciencia y el conocimiento sobre la ciencia y entre ellos toda la carga humana de habilidades y competencias. Pero tal y como la ciencia enseña, siempre hay más de una solución, de una alternativa para cualquier explicación. Aun si el análisis sólo se atiene a lo meramente didáctico siempre cabe la pregunta: ¿habrá otra forma más simple, más eficiente, más económica de estimular, de adquirir estas capacidades? Hodson, en aquel artículo emblemático de comienzo de los noventa, ya lanzaba cañonazos a esta línea de flotación formulando las siguientes preguntas:

“¿Existen otras formas alternativas o mejores de motivarlos?... ¿Los alumnos adquieren las técnicas de laboratorio a partir del trabajo práctico que realizan en la escuela? ... ¿Hasta qué punto el trabajo práctico que efectúan los alumnos puede favorecer las denominadas «actitudes científicas»?... ¿Son éstas necesarias para practicar el correcto ejercicio de la ciencia?”²³⁰

Las preguntas son todas válidas. Pueden emplearse otras actividades socializadoras, motivacionales... los simuladores computacionales son más rápidos, seguros, más atractivos, infinitamente menos falibles.

Si tan onerosa en recursos humanos, temporales y materiales es la experimentación, algo insustituible debe aportar si se quiere tener la certeza de que sólo a través de ella ha de conseguirse la formación científica adecuada de la nueva generación.

Se intentará dar respuesta a estas interrogantes siguiendo, fundamentalmente, la línea de pensamiento de Millar.

1- Es esencial observar objetos y fenómenos si se quiere tener una base real sobre la cual reflexionar. Sin una experiencia práctica de primera mano del mundo, es difícil entender como los estudiantes podrán comprenderlo. Hay una enorme diferencia entre el diagrama y el circuito, entre la fórmula estequiométrica y lo que sucede dentro del tubo de ensayo, incluso, entre el espécimen disecado y el animal vivo. No hay sustitución posible.

Pensar científicamente sobre la naturaleza, lleva de forma ineluctable a lo experimental.

2- La observación, la experimentación ordinaria no es suficiente sino está contextualizada. Si lo empírico sensitivo es engañoso, si la interpretación de la sensación y la percepción toda es un constructo histórico, social e individual, han de crearse espacios y condiciones

²³⁰ Hodson, D. (1994): *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Revista Enseñanza de las Ciencias, 12, 299-313.

específicos para facilitar esta adquisición “filtrada” por parte de los estudiantes. Justo es esta experimentación contextualizada la única capaz de, muy lentamente, ir sustituyendo las falsas creencias sensoriales por nuevas creencias científicas. Las concepciones erróneas son un tema perenne en la enseñanza de las ciencias. Arraigadas en la historia, en lo perceptible mundano, constituyen una mala hierba difícil de eliminar²³¹ ²³². El humano llega a la ciencia con doce años de vida, en la que cada uno de sus días le ha mostrado que el estado de movimiento final de los objetos es el reposo, que si hay chispas eléctricas hay peligro para la vida, que las plantas se alimentan de la tierra, que los cuerpos más pesados caen primero que los ligeros, que papá “trabaja” cuando está sentado en la oficina... La educación científica comienza con el borrado de todos estos archivos, que como buenos virus informáticos vuelven a emerger al cabo de algún tiempo.

- 3- Todos los medios didácticos han de ser llamados a la batalla, computadores, videos, animaciones, modelaciones, maquetas, lápiz y papel. El problema es que todos y cada uno de estos recursos muestran o describen características específicas, partes del todo más nunca el todo.

Puede ponerse, como ejemplo, las experiencias con tubos vaciados que dieron fe de la existencia del mundo subatómico. Son experimentos muy impactantes. No hay ser humano que deje de impresionarse cuando delante de él el carrito de alto voltaje comienza a trepidar. La página You Tube, famosa por los videos artísticos, deportivos y pornográficos, famosa por mostrar cuán banales podemos ser los humanos, es una fuente inagotable de

²³¹ N. del A.: La enseñanza teórica a veces resulta contraproducente en el sentido de que la discusión y análisis con los jóvenes de estas falsas concepciones, lejos de mitigarlas, las refuerzan. Véase Brophy et al (2008)

²³² Brophy, D. et al (2008): *Early elementary social studies*, en *Handbook of Research in Social Studies Education*. P40 Editado por Levstik y Tyson. En línea en <http://books.google.com.gt/books>

recursos didácticos para la experimentación y el estudio de la ciencia. Hay más de un millón de entradas relativas a los tubos de Crookes, infinidad de experimentos clásicos que muestran la propagación rectilínea de los electrones, los efectos inerciales, fluorescentes, en fin, mucho más de lo que el mejor laboratorio del mundo pudiera suministrar por sí sólo. Pueden verse las luces palpitantes, puede oírse, algo apagado, el chisporroteo intermitente del Ruhmkorff, pero no puede olerse el ozono de la alta descarga y es muy poco probable que saltemos al dar el click. Todos estos recursos son muy útiles, pero no pueden reemplazar la experiencia holística de primera mano.

- 4- Si la experimentación es significativa en el sentido ausubeliano, la experimentación proporciona estímulos tales que pueden ser recordados muchos años más tarde. Aquellos que han tenido la suerte de presenciar de niños la contracción de un músculo de rana por un estímulo eléctrico, de ver salir la imagen de un papel revelado en un cuarto oscuro, de apreciar el descenso del barómetro al escalar la montaña, esos, esos ya están marcados de por vida. No hay memoria más vívida que la de aquello que hemos vivido.
- 5- Las destrezas instrumentales sólo pueden adquirirse en la práctica. Los estudios teóricos son de innegable importancia para agilizar y hacer más eficiente el entrenamiento; las modelaciones, las maquetas y los cadáveres pueden hacer menos peligrosas las primeras manipulaciones, pero cuando el maniquí y el simulador de vuelo quedan atrás, habrá un quirófano y un avión real esperando por el ser humano. Mientras no se invente el chip de habilidades programables, el humano dependerá de esta experimentación. Del refranero popular: a nadar se aprende nadando, a emascular se aprende vaciando escrotos.

El tema no está del todo dilucidado. Abrahams y Millar²³³ encuentran que más allá de la creencia generalizada en las virtudes de la educación científica basada en el trabajo experimental, afloran serias dudas sobre la eficacia real de estas prácticas en el día a día. El estudio, realizado con estudiantes de secundaria de veinticinco escuelas en Inglaterra, pone de manifiesto que el foco de atención para el profesor es – predominantemente – desarrollar el conocimiento científico sustantivo en los alumnos, más que desarrollar una comprensión del proceso de descubrimiento científico. El trabajo práctico es generalmente efectivo en cuanto a la manipulación de los objetos, pero mucho menos en el uso de las ideas y procedimientos científicos que permitirían procesar e interpretar la información obtenida. Hay muy poca evidencia de que el diseño de estas actividades experimentales permita apreciar y desarrollar la relación entre lo observable y la teoría como reto cognitivo.

Hay experiencia, pero esta no es significativa. El “conocimiento” pasa de la mano al codo, y allí se queda muchas veces sin llegar nunca al cerebro.

4.2.3 Modelos educativos constructivistas y experimentación.

La gente tiene hoy día la extraña opinión de que todo debe ser enseñado por medio de conferencias... Yo no conozco nada que pueda ser enseñado de mejor forma... excepto cuando hayan de ser mostrados los experimentos.

Dr. Jhonson. (Samuel Johnson) (1709-1784)

Una gran brecha se abre entre los dos polos de la educación como intención humana: De un lado, el megaconocimiento que acompaña a la educación, fundamentado por las corrientes teóricas asociadas a la psicopedagogía – el cómo y bajo qué motivantes aprendemos – sobre cuyas bases se concretan los paradigmas curriculares en cuanto a objetivos, competencias y compromisos. Del otro, el duro bregar del día a día en la escuela, un quehacer que se desliza entre la intención

²³³ Abrahams, I. ; Millar, R. (2008): *Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science.* International Journal of Science Education, Volume 30, Issue 14, November 2008

curricular, las limitaciones materiales y la cultura de una praxis educativa enraizada en un discurso con telón de pizarra y yeso.

Este divorcio entre intenciones y concreciones educativas, se agudiza – como ya se ha indicado – por la perenne inercia de lo educativo ante los cambios sociales. La educación sigue siendo básicamente reactiva. Todos estos factores, presentes en el escenario de los países desarrollados, se hacen más notorios en regiones como Nuestra América. El trabajo experimental como vía para promover la educación científica es un magnífico ejemplo de lo contradictorio entre la teoría y la práctica. El análisis dialéctico de estas contradicciones es la única vía para intentar promover soluciones a este dilema.

Como reacción a la enseñanza experimental tradicional, diversos modelos de enseñanzas de la ciencia han sido explorados en el último medio siglo. Estos modelos de enseñanzas, como propuestas tipológicas para enseñar diferentes contenidos, pretenden, desde bases epistémicas más o menos bien definidas, estructurar, organizar y secuenciar la enseñanza. Un factor relevante, como era de esperarse desde las corrientes constructivistas imperantes, es la relación entre el maestro y el estudiante, y entre este último y el nuevo conocimiento. Estos modelos básicamente pueden presentarse en dos corrientes, una Psicoeducativa, y otra relativa a la Naturaleza del Conocimiento Científico. En la primera el aprendizaje se fundamenta en alguna teoría sobre la construcción del conocimiento del alumno, en la segunda, en algún aspecto de la construcción del conocimiento en la ciencia. En ambas la experimentación, el “hands-on” es la premisa común.

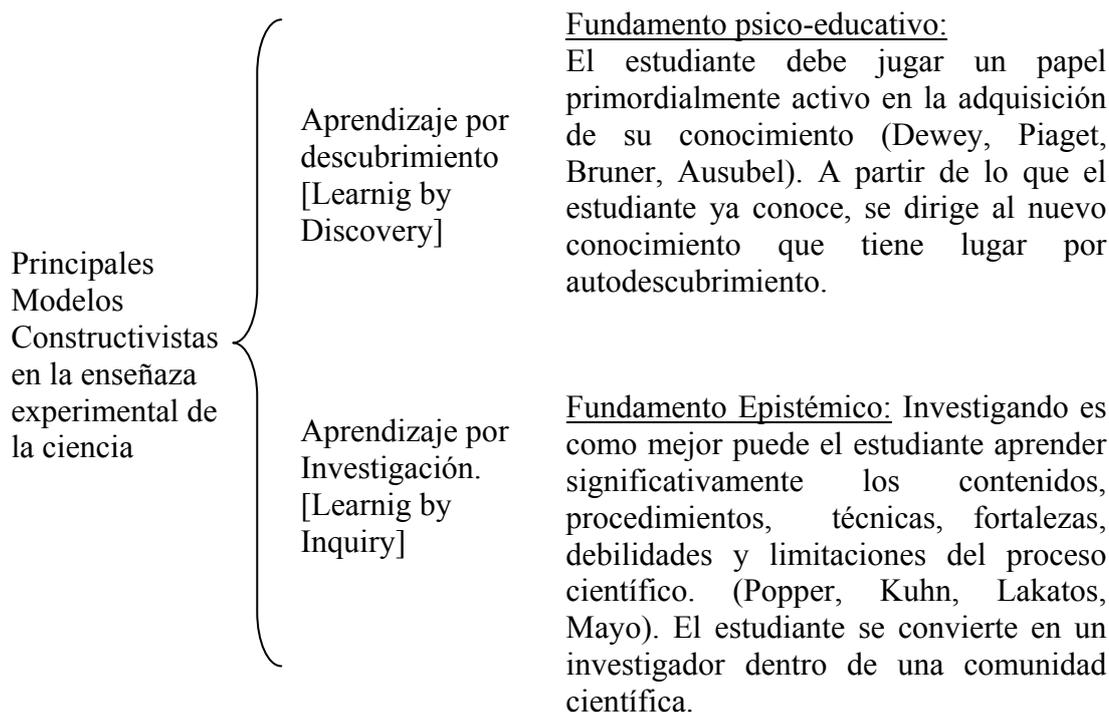


Fig. 2:

Principales Modelos Constructivistas en la enseñanza experimental de la ciencia

En todos los casos el maestro se convierte en facilitador en un ambiente convenientemente matizado. Las diferencias entre uno y otro modelo, como métodos, son sólo de enfoque. A continuación se detallan estos dos modelos:

El descubrimiento como Modelo de Aprendizaje. (*Learning by Discovery*)

El *Learning by Discovery* – en lo adelante Aprendizaje por Descubrimiento – se ha convertido en emblema de la enseñanza de la ciencias basada en fundamentos constructivistas. Esto, realmente, no es nada nuevo como método teórico. Ya se ha analizado cómo, desde Aristóteles hasta Dewey, la experiencia como expresión vital del ser humano ha sido convenientemente jerarquizada. Pero la exaltación del descubrimiento como vía educativa es producto de J. Bruner y la crisis del Spútnik. Bruner²³⁴ publica, en el contexto de la revolución educativa surgida a partir de la guerra espacial que ya se ha discutido, un trabajo que dará lugar a toda esta escuela de pedagogía que ahora se llama Aprendizaje por Descubrimiento. En este artículo

²³⁴ Bruner, J. (1961): *The Act of Discovery*. Harvard Educational Review 31 (1): 21-32.

el descubrimiento se magnifica como método – haciéndose casi independiente de aquello que se investiga – con el propósito de resaltar la importancia y necesidad de la autodirección y de la intencionalidad en el aprendizaje.

Esta hiperbolización trajo malos entendidos que aún hoy siguen dando quehacer a los políticos de la educación en todo el mundo. Bruner prueba a redefinirlo en 1966 aclarando y corrigiendo el uso y abuso del término descubrimiento. Para salvar el enfoque y crear puentes entre las teorías psicoeducativas, intenta rectificar las expresiones categóricas con respecto al autodescubrimiento, quizás demasiado tarde, pues en esta época las acciones eran tan enardecidas que lo emocional bloqueaba lo racional. Entonces “descubrir” no tiene una connotación absoluta sino subjetiva, descubrir es hallar algo nuevo *para sí*, "reordenar o transformar la evidencia, de tal modo que se logre ir más allá de los datos organizados de esta manera, y llegar a otros conocimientos más profundos".

En palabras de Bruner, no sin renunciar a cierto absolutismo, el descubrimiento es

"... una condición necesaria para poder aprender todas las técnicas para la solución de problemas y para transformar la información con el fin de usarla mejor; más aun, para aprender a emprender bien la misma tarea de aprender. La práctica de descubrir por sí mismo le enseña al sujeto a adquirir una información que resulta más asequible y útil para la solución de problemas... En el grado en que puede uno abordar el aprendizaje como una tarea en la que va uno a descubrir algo, en lugar de aprender algo acerca de ello, en ese mismo grado brotará en el niño la tendencia a llevar a cabo sus actividades de aprendizaje con la autonomía del premio por sí mismo, o más propiamente dicho, con la autonomía que da el descubrimiento como premio en sí mismo"²³⁵

Lo cierto es que Bruner intenta esclarecer el concepto contraponiendo el descubrimiento al algoritmo, pero aclarando que la enseñanza – hipotética – puede facilitar el proceso. Bruner considera que se aprende a resolver problemas por medio

²³⁵ Bruner, J. (1966): *Some elements of discovery*. En Eds: L. S. Shulman & E. R. Keislar. *Learning by discovery: A critical appraisal* (101-113). Chicago: Rand McNally.

del descubrimiento, mediante la reiteración, la prueba y el ensayo. Pero la experiencia se facilita si el maestro enseña no desde una perspectiva expositiva, sino empleando una forma hipotética en la que el estudiante toma parte activamente, y en algunos momentos puede convertirse en el actor principal.

Bruner propone entonces un uso intensivo del *descubrimiento guiado*, en donde el sistema educativo cree condiciones tales que los estudiantes puedan manipular objetos en forma activa y transformarlos por medio de la acción directa; buscar, explorar, analizar o procesar la información recibida más que sólo reaccionar ante ella o memorizarla de forma mecánica. En este nuevo contexto, el rol del maestro no es ya proporcionar respuestas terminadas, sino crear condiciones de aprendizaje que permitan a los estudiantes vivenciar un proceso de autoadquisición de conocimientos.

Según Bruner²³⁶, el aprendizaje se hace más significativo cuando ocurre en un ambiente de autodescubrimiento que tiene lugar en una exploración motivada por la curiosidad. Bruner aconseja que este método debería ser más frecuentemente empleado mediante la creación de escenarios y oportunidades en las que los estudiantes aprendan de forma activa, en lugar de recibir información ya pura, bien sea proveniente del maestro, del libro de texto o de cualquier otra de las tantas fuentes de transmisión de información con las que hoy día contamos.

De acuerdo con Bruner, el empleo de tales estrategias puede:

- a) estimular la curiosidad natural de modo tal que el proceso ocurra como reacción en cadena, autosustentado por la necesidad de seguir aprendiendo.
- b) crear una capacidad sistémica y a largo plazo que será útil en otros escenarios.

El carácter individual y autóctono del conocimiento en el Aprendizaje por Descubrimiento hace singular a la estructura cognoscitiva, permitiendo al individuo conferirle sentido a lo aprendido y retenerlo y recordarlo con menor esfuerzo. Estas son sus grandes fortalezas.

²³⁶ Good, T.; Brophy, J. (2000): *Psicología Educativa Contemporánea*. Ed. McGraw Hill. México.

En nuestra opinión, el autodescubrimiento posee aún otra faceta oscura. A la par de la falta de economía temporal (exige mayores tiempos y recursos materiales humanos), de los problemas asociados con la falta de sincronía (no todos los humanos aprenden al mismo ritmo) hay en el autodescubrimiento una exaltación del individuo frente al grupo social. Si la verdad llega por autodescubrimiento, de forma estrictamente personalizada, ¿para qué necesito el conocimiento ajeno, qué importancia final tendrá mi hallazgo para los demás si cada cual debe buscarlo por si mismo?

Himanen caracteriza lo ridículo de esta posición extrema contrastada al comunalismo hackeriano.

“Es un proceder tan absurdo como lo sería que cada generación de investigadores tomara la decisión de desechar todos sus resultados. «Ya veo, $E = mc^2$; ¡y qué!, ¡al cesto!» y dejara que la siguiente generación volviera a empezar desde cero.”²³⁷

Nada hay más irracional e inhumano que desechar la herencia cognitiva, estructura misma de lo que llamamos civilización.

La Investigación como Modelo de Aprendizaje. (*Learning by Inquire*).

El *Learning by Inquire* – en lo adelante Aprendizaje por *Investigación*²³⁸ – ha alcanzado una posición paradigmática en la enseñanza de la ciencia en los últimos

²³⁷ Himanen, P. et al (2002). *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información*. ISBN 8423333906. Editorial Destino. Madrid.

²³⁸ N. del A.: El idioma inglés es rico en términos referentes a la investigación. *Research*, *investigation* e *inquiry* son sinónimos con muy sutiles diferencias. De hecho *inquire* es usado sólo en el ámbito americano mientras que en el Reino Unido se prefiere el uso de *enquire*. El término *inquiry* (investigación), empleado en este contexto educativo, se asocia siempre a la curiosidad innata de los seres humanos por explorar, por preguntarse, por buscar, entender y conocer su entorno. La relación entre este *inquiry* y la investigación realizada en los centros científicos no necesariamente debe asumirse como directa o equivalente, aunque descansen en la misma base epistémica. Para no emplear anglicismos, en el contexto de este epígrafe se entenderá *investigación* por *inquiry*.

veinte años. De acuerdo con los Estándares Nacionales para Ciencia de Estados Unidos de Norteamérica la enseñanza por *investigación* es

“...una actividad multifacética que implica realizar observaciones, formular preguntas; examinar los libros y otras fuentes de información para ver lo que ya es conocido, la planificación de investigaciones, revisar lo que ya se conoce a la luz de la evidencia experimental, utilizando herramientas para recopilar, analizar e interpretar datos, proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados”²³⁹

Hofstein y Lunetta²⁴⁰, establecen que “la investigación (the inquiry) se refiere a las diversas formas en las que los científicos estudian el mundo natural, proponen ideas, y explican y justifican las afirmaciones basadas en la evidencia derivada del trabajo científico”

Uno de los principales centros promotores de este modelo ha sido, por décadas, el Institute of Inquire en San Francisco, EEUU, cuyo objetivo básico es el cuestionarse y buscar respuestas que promuevan el pensamiento del proceso científico. Fundado a finales de la década de los sesenta del siglo pasado, el Exploratorium basa su filosofía en la idea de que la curiosidad y el cuestionamiento son claves para entender el mundo, y que la *investigación* es una aproximación crítica para aprender sobre fenómenos naturales. El fundamento epistémico es simple: la creencia de que los seres humanos son exploradores naturales y que la *investigación* está en el corazón de todo aprendizaje motivando a los estudiantes para promover el estudio conceptual de las ideas científicas y desarrollar sus habilidades de investigación... En este sentido, el Instituto ha promovido la capacidad de liderazgo de los distritos escolares y las universidades – no necesariamente dentro del discurso curricular – para ofrecer programas de ciencia de alta calidad en la educación de todos los estudiantes en los distintos niveles. Esta labor se ha realizado a través de trabajos y

²³⁹ National Research Council. (1996): *National Science Education Standards*. National Academy Press. Washington, DC.

²⁴⁰ Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88 (2004): 28-54.

proyectos educativos que exploran la relación entre las habilidades de proceso y la comprensión conceptual, la evaluación del aprendizaje de los estudiantes al utilizar los enfoques basados en la *investigación* y la creación de oportunidades para practicar y revisar críticamente la evaluaciones del proceso de aprendizaje "sobre la marcha".

En la práctica, la enseñanza basada en la *investigación* se desarrolla en un continuo de estrategias que dependen de lo situacional, del objetivo educativo, los recursos y las características propias de los estudiantes. El cambio conceptual persigue transferir una creciente mayor responsabilidad del pensar y del actuar del profesor a los estudiantes. En un extremo de este continuo se halla la *investigación estructurada*, donde los estudiantes participan en una actividad práctica y sacan conclusiones, pero siguiendo las instrucciones precisas del profesor. El objetivo de la *investigación estructurada* es ejemplificar los métodos científicos de pensamiento y acción e iniciar al estudiante en la responsabilidad que este proceso requiere. En el centro del continuo se halla la *investigación guiada*, en donde los estudiantes pueden asumir la responsabilidad de determinar el procedimiento para la *investigación*, pero el profesor decide qué se ha de investigar. En el extremo opuesto del continuo se halla la *investigación iniciada por el estudiante*, en donde es el aprendiz quien inicia la investigación, genera sus propias preguntas de un tema seleccionado por el profesor, y diseña su propia investigación. La *investigación iniciada por el estudiante* proporciona magníficas oportunidades para que el estudiante se aproxime al operar científico al resolver problemas de interés social o personal, pero requiere de una madurez e independencia que debe haber sido promovida en los estadios anteriores.

Hofstein y Lunnetta, a la luz de varios metaestudios curriculares de ciencia experimental, aclaran el porqué tales proyectos siguen adoleciendo de ineficiencias e incompletitudes.

“Aunque estos estudios curriculares mostraron algunos efectos positivos en el aprendizaje de los estudiantes de ciencia, el impacto fue limitado debido a deficiencias en la difusión y la ejecución de estos proyectos curriculares” (op cit)

En otras palabras, deficiencias en la comprensión, en la ejecución y en la voluntad para sostener la constancia de tales proyectos. Aun en fases terminales de la enseñanza universitaria es poco frecuente – o productiva – esta modalidad. Recientes estudios demuestran los orígenes de tales desaciertos desde un punto de vista cognitivo. A ellas se volverá más adelante.

En resumen: Ambos modelos de Enseñanza Aprendizaje en el marco experimental dan por sentado una prestancia y una capacidad cognoscitiva que deberían desarrollarse desde edades muy tempranas. El Aprendizaje por Investigación requiere, ante todo, de una genuina preocupación por parte del aprendiz sobre la identificación de los objetivos, los supuestos necesarios para su comprensión, el desarrollo de una capacidad de observación y comparación, el uso de la crítica y el pensamiento lógico, y la consideración de explicaciones alternativas. Si estas fueran las competencias logradas en la educación primaria y secundaria, la educación superior sería mucho menos traumática para estudiantes y profesores.

4.2.4 Modelos didáctico-epistémicos para el desarrollo de la experimentación significativa.

Todo se presenta a cuantos sentidos sea posible.
Comenius

La importancia de lo visual, de lo gráfico, ha sido ampliamente resaltada como herramienta didáctica desde los tiempos en que Comenio, en 1658, introducía los primeros grabados en su *Orbis Pictus*. Si bien el tema de lo experimental en el desarrollo de la ciencia y en la comprensión de la naturaleza de la ciencia es un tema ampliamente abordado en la investigación educativa y filosófica, también es cierto que se adolece de un esquema, de una imagen que permita transmitir la esencia de estos detalles con fines educativos. Muy variados son los enfoques sobre cómo conseguir, en lo educativo, representar en dos dimensiones ese matrimonio entre teoría y experimentación.

En ocasiones las representaciones son muy ligeras, en otras el mensaje del esquema se contradice con el mensaje del texto, en otras es tan abigarrado y barroco que nos

perdemos en los detalles. A continuación, se analizan algunos de los modelos más sobresalientes de las últimas décadas.

1- Modelo Tradicional de Investigación Científica. Sierra Bravo.

Sierra Bravo²⁴¹, en su ya clásica obra, y a pesar de que en el texto hace referencia a la no linealidad, la especificidad de cada metodología y la perenne posibilidad de mejorar una teoría científica, presenta un diagrama que resume el típico acercamiento según “el Método”.

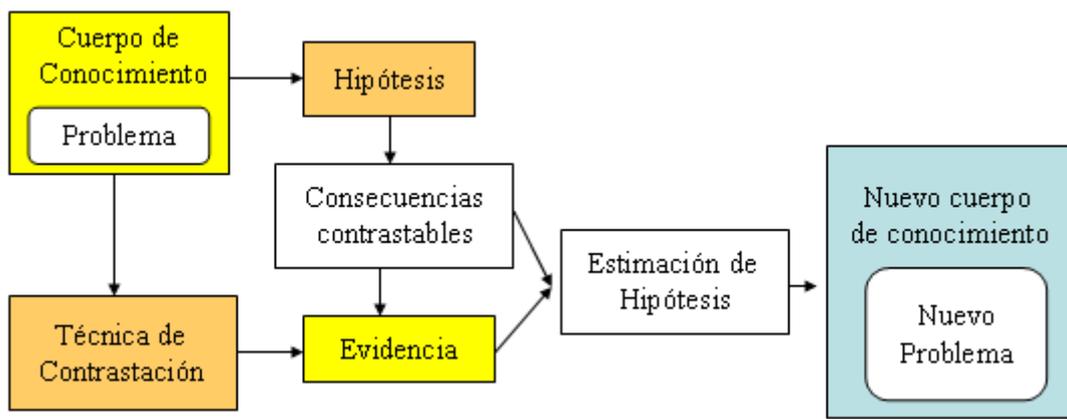


Fig. : Modelo Tradicional de Investigación Científica. Sierra Bravo.

El experimento ocupa el lugar clásico: juez imparcial que permite la evaluación de la Hipótesis basada en observaciones, utilizando técnicas de contrastación según la lógica hipotético - deductiva. La obra de Sierra Bravo, de obligada presencia en casi todos los Programas de Investigación y Doctorado en Iberoamérica, presenta el cuadro dentro del contexto de un Ciclo Científico. Quizás el diagrama haya sido pensado como introductorio, pero es un buen ejemplo de cómo se proyecta de forma simplista lo experimental en el marco de una investigación.

Análisis crítico: Lineal y casi mecánico, sin posibilidades de regresión o fracaso y sin hacer mención a lo social dentro del ámbito de la verificación.

²⁴¹ Sierra Bravo, R. (1985): *Tesis doctorales y trabajos de investigación científica*. ISBN 84-9732-138-3. Editorial PARANINFO. Madrid.

2- Modelo de aprendizaje experiencial (ELT) de David Kolb.

La teoría de Kolb sobre la enseñanza y el aprendizaje experiencial²⁴² define el aprendizaje como “el proceso mediante el cual el conocimiento es creado a través de la transformación de la experiencia. El Conocimiento resulta de la combinación de captar y transformar la experiencia” El modelo de aprendizaje experiencial ELT (Experiential Learning Model), dirigido originalmente hacia la enseñanza y capacitación de adultos, se inscribe en las tendencias intervención - acción.

Kolb²⁴³ ha continuado durante años este modelo de aprendizaje experiencial basándose sobre todo en los fundamentos teóricos de John Dewey y Kurt Lewin, para explorar la experiencia y sus espacios, no sólo en la educación superior, sino en niveles inferiores. Según Kolb (1984), el ciclo comienza con una experiencia que los estudiantes hayan tenido, seguida de la oportunidad de reflexionar sobre esa experiencia. Luego, se conceptualiza y se extraen conclusiones acerca de lo observado y experimentado, dando lugar a nuevas acciones para experimentar con diferentes comportamientos. El ciclo se cierra y arranca de nuevo. A pesar de esta propuesta continuidad, estos autores son claros en el sentido de que los pasos pueden ocurrir en casi cualquier orden. Este ciclo de aprendizaje incluye tanto los componentes concretos (experiencia concreta y experimentación activa) y componentes conceptuales (observación reflexiva y conceptualización abstracta). Todos ellos requieren de una variedad de comportamientos cognitivos y afectivos.

²⁴² Kolb, D. (1984): *Experiential learning*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. Página de Kolb sobre Experience Based Learning Systems, Inc. 1984.
<http://serc.carleton.edu/.../enviroprojects/what.html>.

²⁴³ Kolb, A., Kolb, D. (2005): *Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education*. Academy of Management Learning & Education, 2005, Vol. 4, No. 2, 193–212

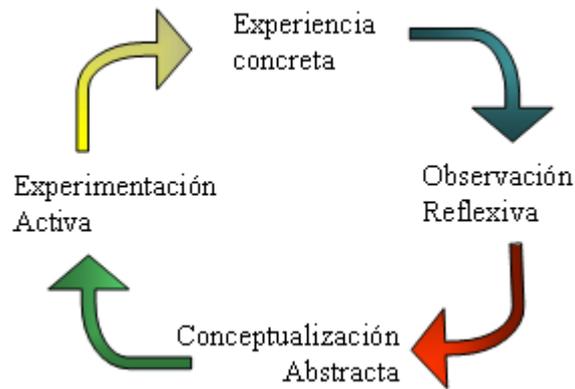


Fig. 4: Modelo de aprendizaje experiencial (ELT) de David Kolb.

Andresen et al²⁴⁴ afirman que para que el modelo funcione son necesarios, en alguna forma, los siguientes elementos:

- a) Significado: la experiencia de aprendizaje debe estar vinculada con las necesidades concretas de los estudiantes. Se requiere de un compromiso personal entre el aprendiz y la experiencia.
- b) Socialización: deben crearse espacios y oportunidades para escribir, hablar y discutir estas experiencias
- c) Participación holística: toda la persona se involucra, intelectual, sensorial y sentimentalmente.
- d) Enfoque Referencial: sólo desde lo experimentado personalmente puede darse el cambio. Las referencias a estas experiencias deberán ser tenidas en cuenta.
- e) Confianza e interés: Sólo en un clima de confianza, respeto, apertura, y preocupación genuina por el bienestar de los estudiantes el modelo es funcional.

Análisis crítico: El énfasis en las necesidades concretas es debatible. El papel de la Investigación Básica, esto es, la investigación sin propósitos pragmáticos específicos, ha sido ampliamente fundamentado. El investigador básico busca el conocimiento *per se*.²⁴⁵

²⁴⁴ Andresen, L. et al (2000): *Experience-Based Learning*. Allen and Unwin Publishers, en Foley, G., *Understanding Adult Education and Training*, segunda edición. Texto disponible en: <http://serc.carleton.edu/resources/36449.html>

²⁴⁵ N. del A.: Las aplicaciones pueden llegar ahora o más tarde. Es cuestión de suerte. Ya se han puesto numerosos ejemplos de trabajos que nunca pretendieron en un inicio aspirar a un Nobel. El trabajo de capas delgadas de Albert Fert, la solubilidad del Helio en los líquidos

Por aparte, hay necesidades inmediatas y otras a largo plazo, culturales y de difícil pronóstico. En el trópico centroamericano no habría que preocuparse mucho de lo que ocurre en los polos. Si embargo, el calentamiento global y el derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel del mar y los cambios impredecibles en el clima terrestre, el agujero de la capa de ozono y sus consecuencias sobre la extinción del biotopo polar, cambian radicalmente este punto de vista.

3- Modelo de Razonamiento Científico de Ronald N. Giere

Los nuevos modelos hipotéticos deductivos, a diferencia de los precedentes empírico inductivos dejan las puertas abiertas a la especulación, la duda y el debate. La visión didáctica de que no existe linealidad entre la *data* y la explicación, puede reconvertirse de un impedimento, a una herramienta para enseñar la naturaleza de la ciencia, máxime si se refuerza con ejemplos extraídos de la historia. Aprender, en educación, no debe ser visto como almacenamiento bancario y mecánico ni como redescubrimiento perenne; aprender es hacer propio, mediante ejercicio y reflexión, lo que otros ya saben.

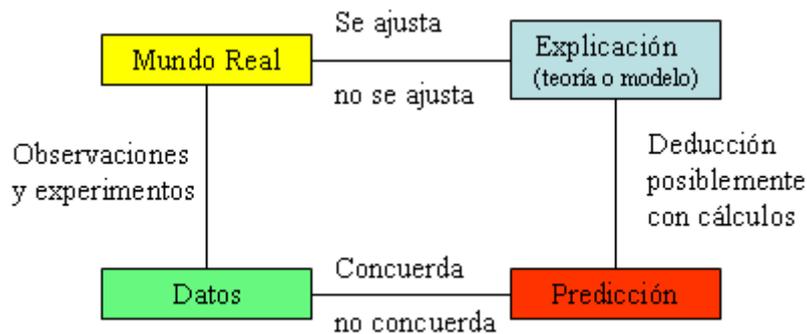


Fig. 9: Modelo de Razonamiento Científico de Ronald N. Giere

por Joel Hildebrand, la terapia por transplantes Gertrude Elion y el agujero en la capa de ozono de Mario Molina fueron algunos de los trabajos citados en el Capítulo 3. A veces son los dados los que otorgan los Premios Nobel.

Giere²⁴⁶ resume este punto de vista: A partir de la observación y la medición, pueden recolectarse datos sobre el "mundo real" y conjuntamente hacer conjeturas y explicaciones para el comportamiento de este mundo real. Las conjeturas permiten deducir algunas predicciones, que pueden contrastarse con la *data*. Si estos coinciden, aumenta la confianza en la explicación para describir el comportamiento del mundo real. Si no es este el caso, puede llevar a un cuestionamiento de la explicación, las predicciones específicas hechas a partir de ellas, la calidad de la *data* o su procesamiento, etc.

Millar (2004 op cit) destaca que, desde el punto de vista educativo, la clara separación entre la *data* y la explicación y el reconocimiento de que no hay ningún camino seguro y directo entre la explicación y los datos, es la más útil imagen que puede brindarse del acto investigativo.

Análisis crítico: No contempla el ámbito social

4- El Modelo Científico Integrado (IGS) de Craig Rusbult (2007)

Craig Rusbult, (Rusbult 2009)²⁴⁷ desarrolla un modelo integrado de método científico en una síntesis, no sólo científica y filosófica, sino también histórica, sociológica y psicológica. El Método Científico Integrado (IGS, Integrated Scientific Method) enfatiza la dependencia mutua de la creatividad y las habilidades de pensamiento crítico estrechamente integradas en la solución de los problemas y los métodos utilizados por los científicos. Rusbult no pretende en su modelo definir “el método” sino justamente lo contrario: Presentar “un mapa que muestre las posibilidades creativas para la deambulación más que un riguroso diagrama de flujo para describir una secuencia predecible.”

²⁴⁶ Giere, R.N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, 3rd edition. Fort Worth, TX: Holt, Rinehart and Winston. <http://www.tc.umn.edu/~giere/>,
<http://www.tc.umn.edu/~giere/R&Fpubs.html>

²⁴⁷ Rusbult, R. (2007): *A Detailed Examination of Scientific Method*.
<http://www.asa3.org/ASA/education/think/science.htm>

Rusbult emplea este modelo para analizar los métodos de instrucción de forma creativa en aulas que empleen la estrategia de "investigación científica".

El experimento sigue ocupando el lugar clásico: permitir la evaluación de la Teoría basada en observaciones, utilizando la lógica hipotético - deductiva.

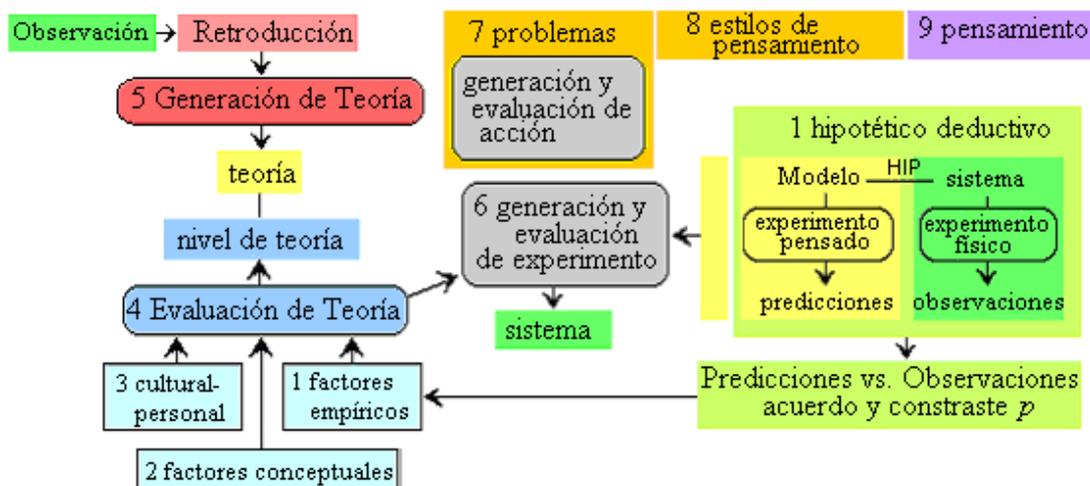


Fig. 9: El Modelo Científico Integrado (IGS) de Craig Rusbult

Análisis crítico: quizás demasiado abigarrado para su uso didáctico a nivel de pregrado.

5- El Modelo Didáctico Epistémico de A. J. León (2009)

El autor pretende presentar un recurso didáctico en donde se aprecie la experimentación como una interfase entre el ámbito cognitivo, lo social espiritual consciente y el ámbito material de la realidad objetiva. Epistemológicamente resume de forma gráfica la no linealidad, la relativa independencia de la teoría, la relación mutua entre lo teórico y lo experimental, el carácter no determinista de todo el sistema así como los procesos de validación a través de la observación, la *data*, la interpretación y la repetición en el ambiente social.

La repetición es aquí no mecánica sino dialéctica. Un evento nunca es suficientemente poderoso para validar o excluir.

El término confianza está asociado aquí con la incerteza que siempre caracteriza la construcción del conocimiento científico, una incertidumbre que sólo cuenta con evidencias y argumentos para su resolución pero que son, en si mismos, también

inciertos. En el centro de este esquema para esclarecer el papel de la experimentación está el mensaje de que experimentar es algo más que manipular objetos, hacer estadísticas y hallar regularidades.

La repetición del proceso y su filtrado a través de lo social coincide con la línea probabilística de Mayo.

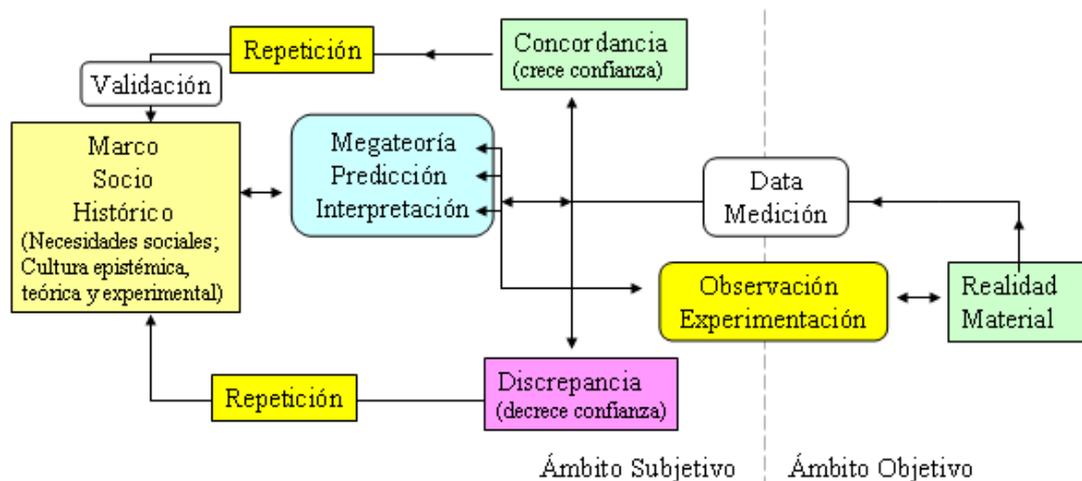


Fig. 8: Modelo Didáctico Epistémico de A. J. León (2009)

En el mundo desarrollado se habla del tránsito en lo experimental, de lo inductivo puro y el autodescubrimiento, a lo hipotético deductivo antecedido por un fundamento que permite el análisis y la discusión. Pero mientras que esto sucede, los pocos estudiantes latinoamericanos que tienen acceso a algún tipo de experimentación, siguen ejecutándola de forma mecánica.

4.3 ¿Experimentación real o experimentación virtual?

“Es de mentes vulgares, tímidas y serviles volver los ojos a un mundo de papel más bien que al verdadero y real, fabricado por Dios, que tenemos ante los ojos para enseñanza nuestra.”

Galileo Galilei.

Dialoghi delle nuove scienze. 1638

Uno de los rasgos distintivos de esta generación, como ya se ha acotado, es el uso intensivo de los recursos informáticos y computacionales. Sin lugar a dudas, las

computadoras son la imprenta del siglo XXI. Pero en cuanto a experimentación se refiere hay un hecho curioso que debe ser resaltado. Cuando se insertan en un buscador las palabras « laboratorio + virtual + física » el resultado es sorprendente: existe casi medio millón de ítems con esa clasificación ¡sólo en idioma español!

Otro hecho curioso es que, a diferencia del común actuar de los humanos, hay una perfecta homogeneidad en los criterios sobre esta forma de experimentación. Hay consenso sobre sus bonanzas – en particular entre los educadores hispanoparlantes – que le dedican más tiempo y espacio que el que supuestamente debieran. La profusión de investigaciones, sitios y referencias a “experimentación virtual” en Iberoamérica es algo fuera de proporción si se compara con lo que ocurre en el resto del mundo.

Pudiera intentarse tener una idea de este hecho si relacionamos tres términos asociados en un buscador empleando el idioma español e inglés.²⁴⁸

Idioma	Investigación Científica	Educación Científica	Laboratorio Virtual
Inglés	48.4	412	0.776
Español	7.0	10	0.428

Las cifras se expresan en millones de sitios web. Una prueba Ji^2 indica una p del orden de $1 \cdot 10^{-4}$. No hay dudas al respecto. Al parecer los hispanoparlantes amamos los laboratorios virtuales.

¿Cuál es la razón que impulsa a tantos investigadores en esta dirección? Las ventajas son poco menos que evidentes. La experimentación virtual, por su propia naturaleza y según puede advertirse en estos trabajos, se distingue por ser:

Más segura: Permite desarrollar experimentos con aquellos sistemas que por su riesgo intrínseco están fuera del alcance de las instalaciones educativas. Con estas animaciones interactivas se puede experimentar con un reactor nuclear, una nave espacial o el comportamiento de un chip de nueva generación fuera de su rango operativo. No hay riesgo de caídas, ni de radiación, ni de destruir el único prototipo del chip. La seguridad libera la imaginación sin trabas de riesgo.

²⁴⁸ N. del A.: De la Vida Real. La búsqueda se realizó en Google en julio de 2009. El autor de esta Tesis está consciente de la falta de rigor en esta prueba, de modo tal que ha de asumirse sólo como un primer “elemento exploratorio”.

Más barata: Ya se ha hecho referencia a lo cada vez más oneroso que el avituallamiento para la experimentación en la escuela exige del sistema educativo y su siempre exiguo presupuesto. A diferencia de lo que ocurre con el resto de los commodities, productos y servicios en eterna escala de precios, la electrónica contemporánea marcha en sentido contrario. Si hay algo cuyo desarrollo implica productos de mejor calidad, mayor fiabilidad, menor volumen y peso con un costo cada vez menor, ese es el campo de los procesadores.

Más democrática. La difusión y el abaratamiento de los procesadores convierten a estos elementos tecnológicos en herramientas omnipresentes, aun en los sitios más remotos. El computador es el ara de la libertad. Con un computador, borramos las históricas diferencias económicas, de clase o poder. La virtualidad y la computadora garantizan la tan soñada igualdad.

Más rápida. Permite un más rápido procesamiento y presentación de los datos obviando todo el tiempo requerido para disponer los medios técnicos y los instrumentos, ejecutar lecturas, etc. Puede, inclusive, ocurrir el milagro de experimentar en segundos lo que a la naturaleza le toma eones. En nuestros currícula, siempre voraces de tiempo, esto constituye una gran ventaja.

Más atemporales y omnipresentes: Admite realizar las prácticas sin las limitaciones de espacio y tiempo a las que está sujeta la experimentación convencional en los laboratorios. Tal y como se preconiza, literalmente puede llevar la escuela a la casa. La Educación a Distancia ve en la virtualidad la concreción de su esencia.

Más adecuados a la Psicopedagogía contemporánea: Resuelve el problema constructivista ya que, desde el teclado, se hace que el propio alumno sea el ente activo y responsable de la manipulación de la información. Lo asincrónico del proceso permite avanzar – o incluso repetir – según la necesidad de cada estudiante. Según Ortega-Zarzosa et al, se resuelve mediante esta experimentación la integración epistémico-didáctica:

“A fin de poder manipular el escenario epistemológico, se desarrolló el concepto de Laboratorio Virtual de Física, el cual consiste en la utilización de la Enseñanza Asistida por Computadora (EAC) y la estructura de un laboratorio de experimentación real. Las actividades del LVF interrelacionan ambos sistemas. Mientras que la EAC es un sistema basado en la adquisición de conocimientos, el LVF busca desarrollar

habilidades intelectuales y estrategias cognoscitivas en el alumno. La EAC asume una forma de aprendizaje magistral y deductivo a través de sistema de preguntas-respuestas, mientras que el LVF, sosteniendo un ambiente de laboratorio, asume una forma de aprendizaje heurístico e inductivo”²⁴⁹

Más eficiente y motivadora: En un estudio reciente en la University of North Carolina, en Greensboro, Mesiner et al demuestran que en un grupo sujeto a tal tipo de experimentación, si bien no se obtuvo calificaciones significativamente diferentes en los exámenes semestrales de Física, si mostró un alto interés en la transferibilidad de habilidades del mundo virtual al mundo físico. Estas afirmaciones son compartidas por otros educadores. En esta misma línea, pero atendiendo a lo motivacional, los mismos autores indican que:

“El uso de los simuladores predispone al estudiante al experimento (virtual) obteniendo mejores resultados en la construcción de los conceptos y sobre todo en el interés que despierta en estudiantes de los primeros cursos de física en carreras de licenciatura.”²⁵⁰

Más respetuoso de las diferencias religiosas o morales: ¿Por qué sacrificar una vida en una disección si puede hacerse una disección virtual, qué sentido tiene derrochar vidas? Hofstein y Lunetta²⁵¹ indican que cuando el proceso educativo se realiza en entornos en donde los elementos éticos y culturales pueden tener un peso decisivo la virtualidad pudiera intentar dirimir entre las pugnas en dependencia de los objetivos propuestos.

Cada vez más realistas: El desarrollo de nuevos programas informáticos para el manejo y animación de imágenes, hace cada vez más realista la virtualidad, creando condiciones muy adecuadas para la recreación de habilidades y competencias así como para aplicar la modelación y la flexibilidad requerida en la experimentación.

²⁴⁹ Ortega-Zarzosa, G., Medellín-Anaya H., Martínez, J.R.: *Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando un laboratorio virtual de física*. Revista Cubana de Física. Vol.17, No. 1-2, 2000.

²⁵⁰ Meisner, G.; Hoffman, H.; Turner, T.: *Learning Physics in a Virtual Environment: Is There Any?* Latin America Journal of Physics Education. Vol. 2, No. 2, May 2008

²⁵¹ Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88 (2004): 28-54.

Lo que se infiere de estos trabajos no es una equivalencia entre la experimentación real y la experimentación virtual, sino la tácita posibilidad de excluir la experimentación del proceso educativo. Alejandro indica:

“En el caso del trabajo experimental en Física, las prácticas de laboratorio pueden desarrollarse de manera que el estudiante entre en contacto directo con los medios de laboratorio mediante la manipulación de los dispositivos e instrumental requeridos para el experimento (laboratorio real) o²⁵² utilizando simulaciones interactivas programadas con el empleo de las computadoras (laboratorio virtual).”²⁵³

Meza se pronuncia de forma similar al plantear:

“El tratamiento de actividades como investigación en un ambiente de laboratorio virtual, pueden constituir una nueva manera de desarrollar los trabajos prácticos de física sin perder de vista los objetivos básicos de los mismos”²⁵⁴

Kenia Herrera²⁵⁵ desarrolla su Tesis Doctoral precisamente sobre los entornos virtuales en las prácticas de laboratorio de física. Fundamenta su propuesta en la Situaciones Sociales de Desarrollo (SSD), actuando desde el enfoque Histórico-Cultural de Vygostky, aborda los elementos cognitivos y didácticos de la experimentación virtual... pero sin mencionar, tan siquiera una sola vez, los “laboratorios reales”. Lo real va cayendo en el olvido bajo la somnolencia de lo virtual. El cannabis de lo virtual nos va haciendo perder la memoria.

²⁵² N. del A.: El subrayado intencional es del autor de esta Tesis.

²⁵³ Alejandro, C. (2005): *Sistema Interactivo Didáctico para la Enseñanza de la Física (SIDEF)* Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias de la Educación Superior. UCLV. Cuba.

²⁵⁴ Meza, S. et al (1999): *Propuesta de Implementación de Laboratorio Virtual en Física* UNNE, Argentina. www1.unne.edu.ar/cyt/humanidades/h-013.pdf

²⁵⁵ Herrera, K. (2008): *Estrategia didáctica para la elaboración y aplicación de entornos virtuales de aprendizaje en las prácticas de laboratorio de física para la educación superior*. Tesis Doctoral. La Habana. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-0748-5.

Es hora de comentar, es hora de desambiguar. En la práctica educativa reciente se ha abusado indiscriminadamente del término “laboratorio”, ese lugar según la RAE “dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico, esa realidad en la cual se experimenta o se elabora algo.” Así las cosas, se oye hablar con frecuencia de Laboratorio de Matemática, en lugar de una más simple Hoja de Trabajo. Es como si al hablar de Laboratorios ya se estuviera promulgando nuestra intención por el enfoque constructivista.

Ya en esta Tesis se han señalado las diferencias entre lo que sugieren los “laboratorios virtuales” y lo que los científicos, los epistemólogos y la vanguardia de la comunidad educativa entienden por experimentación. Una cosa es hablar de Entornos Virtuales para el aprendizaje de la Física y otra muy diferente es intentar suplir el mundo real y su infinita complejidad y mutabilidad, por una respuesta programada en lenguaje binario. Las maravillosas imágenes interactivas que desde hace más de diez años el profesor Fu-Kwun Hwang²⁵⁶ del Departamento de Física de la National Taiwan Normal University nos ha regalado, son una magnífico ejemplo de lo que pueden hacer las TIC, el conocimiento y la pasión por la física y su enseñanza. No se trata por tanto de negar lo virtual, de contraponer lo virtual con lo real, sino justo de conjugarlos en su propio entorno. Levy señala con total rotundidad que:

“Lo virtual no es en modo alguno, lo opuesto a lo real, sino una forma de ser fecunda y potente que favorece los procesos de creación, abre horizontes, cava pozos llenos de sentido bajo la superficialidad de la presencia física inmediata”²⁵⁷

Alude con ello a no pensar en función de lo real versus lo virtual como la única contextualización posible, y menos aún en el ámbito formativo, excluyendo las tendencias que nos llevarían a creer que el aprendizaje no se producirá en el estudiante si el profesor no se encuentra enfrente de ellos, o que no es necesario el profesor con un buen programa informático. El autor de esta Tesis se proclama

²⁵⁶ NTNUJAVA Virtual Physics Laboratory. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>

²⁵⁷ Levy, P. (1999): *¿Qué es lo virtual?* ISBN: 84-493-0585-3. Ed. Paidós. Barcelona.

rotundo partidario del uso de estas animaciones, simulaciones y entornos virtuales, pero sólo como otra herramienta, otro recurso didáctico que coadyuva a conseguir los objetivos y competencias deseados.

Es preciso señalar que el origen de estas aberraciones no es otro que la necesidad humana por suplir aquello que nos falta, por llenar con quimeras nuestros laboratorios vacíos y – por qué no decirlo – un virar la espalda a los fundamentos epistemológicos que guían la ciencia y su enseñanza. Cumbreira no puede sino aceptar lo evidente cuando reconoce:

“..con el uso de los applet de física, hay poca contribución al desarrollo de habilidades experimentales pues el estudiante no palpa el equipamiento técnico del laboratorio. No obstante consideramos que es lo más acertado cuando no se dispone de la dotación de laboratorio adecuada.”²⁵⁸

Pocos son los que, como Valdés y Valdés, reconocen el simple sentido instrumental del ordenador y la necesidad de una continua conexión con la realidad experimental tanto en el ámbito didáctico como meramente investigativo.

“Durante la resolución propiamente dicha, los estudiantes hallaban la solución analítica de las ecuaciones planteadas, establecían el método y las fórmulas de cálculo con que habría de funcionar el ordenador, elaboraban algoritmos de programación que ellos mismos codificaban en algún lenguaje de computación conocido y, si lo exigía el problema, construían la instalación experimental necesaria.

Por último, los alumnos analizaban los resultados obtenidos, contrastándolos con la realidad y con el resultado esperado.”²⁵⁹

²⁵⁸ Cumbreira, R. (2007): *El desarrollo de la actividad experimental en física general y el uso de las tics en las prácticas de laboratorio*. Revista Pedagogía Universitaria Vol. XII No. 5 2007. La Habana.

²⁵⁹ Valdés R.; Valdés P. (1994): *Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (3), 412-415.

Es preciso advertir, que ninguna tecnología puede ser tan mágica como para resolver los profundos misterios de la educación, que los mismos errores de concepción y manipulación que se presentan en la experimentación física, aparecen también reproducidos en las simulaciones. Muchos de nuestros jóvenes se acercan a ellos con la misma destreza que lo harían a un *video game*. Manipulan, obtienen las curvas, las gráficas y trayectorias. Todo muy bonito, pero no hay comprensión, no hay aprendizaje. La virtualidad puede conferir un sentido de falsa seguridad en la que por simple manipuleo puede llegarse al conocimiento deseado.

Hay un riesgo adicional, que no tiene que ver con los estudiantes sino con los facilitadores de tales espacios y la propia naturaleza humana. Las posibilidades gráficas son tan exquisitas que nos sentimos de maravilla – los profesores – ante lo que muestran las pantallas. Pero aquí está implícita “la maldición del conocimiento”.²⁶⁰ ²⁶¹ Sólo aquel que YA SABE encuentra sentido y profundidad dentro de la simulación. Para el principiante, para el neófito, puede ser un mero juego de luces. La forma habitual en que el autor de esta Tesis promueve el sentido relativo de la experiencia de aprendizaje, es someter al profesor a una animación de un fenómeno o rama del conocimiento que él no domine. En este caso la animación pierde todo su sentido, y como por arte de magia, ya no es bella.

²⁶⁰ N. del A.: La “Maldición del Conocimiento” (The Curse of Knowledge), advertida y caracterizada por Elizabeth Newton (1990), es uno de los elementos más significativos de la psicopedagogía contemporánea: una vez que sabemos algo, nos resulta difícil imaginar cómo es que los otros no lo entienden. Esto nada tiene que ver con nuestra intención de ayudar o entorpecer. Es sólo nuestra naturaleza. El saber nos marca y diferencia de los que no saben. Deberíamos intentar cada mañana al despertar, a manera de sortilegio contra esta “maldición”, recitar un credo que diga “a ellos les duele lo que para mi es un placer”. Todo el que haya llevado algún curso de Física Teórica, ha de recordar la presencia casi continua de las palabras “obvio” y “evidente”. La respuesta es muy simple: es obvio y evidente para aquel que domina por entrenamiento y dedicación de largos años. Para el estudiante promedio es poco menos que insufrible. Este es también el caso con la Enseñanza Asistida por Computadora. Ninguna tecnología puede, por el momento, cambiar nuestra naturaleza humana.

²⁶¹ Newton, E. (1990): *Overconfidence in the Communication of Intent: Heard and Unheard Melodies*. Unpublished doctoral dissertation (Stanford, CA: Stanford University). Comentada por Chip Heath en 2003: *Loud and Clear, Crafting messages that stick—What nonprofits can learn from urban legends*: Stanford Social Innovation Review.

El hecho de saber, del saber del maestro, condiciona no sólo la forma de enseñar, sino la forma en que los alumnos perciben lo nuevo sabido. El saber simplifica por fuerza, y hace que se pierda una enorme porción de la faz de la experimentación. Tras realizar la famosa encuesta sobre los diez experimentos más famosos de la historia, Crease percibe estos problemas epistemológicos y señala:

“Yo estaba un poco preocupado... por la facilidad con la que mucha gente parecía creer que los experimentos que estaban proponiendo habían sido concebidos, llevados a cabo y comprendidos. Esto parece responder, en parte, a la forma en que estos experimentos se han enseñado comúnmente. Las demostraciones pueden simplificar enormemente el proceso experimental mediante el uso de equipo moderno construido teniendo a la vista la respuesta "correcta". Los libros de texto y las simulaciones Web... pueden implicar simplificaciones mucho mayores. Esto es cierto incluso cuando, como en el caso de algunas gotas de aceite en las simulaciones del experimento de Millikan, se decide incluir junto con las gotas limpias, algunas gotas "sucias" que no pueden ser ajustadas al resultado correcto en un intento de promover la verosimilitud. Estas demostraciones y simulaciones, creo, disminuyen la experiencia de la belleza en la ciencia por tergiversar el proceso experimental.”²⁶²

Hay algunas variantes mucho más dignas en donde la virtualidad se sustituye por “lo remoto”²⁶³. Son los llamados experimentos físicos en tiempo real vía Internet. Sin embargo, hay algunas falsificaciones tan buenas y originales que casi confunden en la intención, como es el caso del sitio del Laboratorio de Magnetismo²⁶⁴ de la Universidad de Białystok, Polonia. En este sitio aparecen algunos de estos experimentos en línea con más de 40 000 visitantes desde que se creó el sitio.

La propaganda proclama:

Inicio de la cita (se respetan los énfasis):

²⁶² Crease, R. (2002): *The most beautiful experiment*. Physics World. Sep 1, 2002

²⁶³ Optics <http://optics.phys.spbu.ru/~Arkhipov/links/#TOP>

²⁶⁴ Explore Magnetic Domains with the use of the INTERNET EXPERIMENT ON-LINE <http://physics.uwb.edu.pl/exp/domeny/exp08v3en.cgi>

“Explore los dominios magnéticos con el uso de los
EXPERIMENTOS EN LÍNEA de la INTERNET

¿Por qué por Internet?

Trabajando desde cualquier punto del mundo con un simple ordenador personal en la Internet, ahora se pueden obtener datos de un experimento por control remoto. Esta solución se ha conocido en la investigación científica por muchos años. Recientemente, con la aparición de la nueva "Internet" los laboratorios se han hecho accesibles para los estudiantes en la escuela, la universidad o en la casa. Complicados montajes de costosos equipos, ahora están conectados al medio más popular - Internet. Esta es una excelente forma de promover una idea de la Física a muchos usuarios que pueden utilizar los dispositivos experimentales en diferentes niveles. Esto es un experimento real! No es una simulación!! No es un Applet de Java!!!”

Fin de la cita

El valor educativo es, sin lugar a dudas, enorme. Para el experimento de la alineación de los dominios magnéticos, la interface visual requiere que se indiquen los valores del campo de activación H y su polaridad. El estudiante debe ir tanteando los valores de H que provoquen los cambios deseados... Unos segundos más tarde aparece la imagen de los dominios convenientemente alineados y listos para ser contrastados con la curva de magnetización. Son fotos objetivas que en ocasiones pueden mostrar ordenamientos irregulares o no esperados. Realmente no son animaciones, no son applets, sino imágenes reales que llevan todo el rigor de un experimento real. El trabajo es tan excelente que la imagen se aleatoriza de modo tal que una misma entrada no produce dos resultados idénticos inmediatos (ingrésese por ejemplo el valor $H = 3\ 800\ \text{A/m}$ repetidamente).

Pero en el fondo esto no es experimento en tiempo real, sino una colección de fotos provenientes de una base de datos... cuyo resultado está intrínsecamente

predeterminado. Algo similar ocurre con la caracterización de la histéresis, en donde la curva surge como por arte de magia. Atrás queda toda la larga – y tediosa – preparación cristalográfica del ferromagnético, atrás queda el anillo de Rowland, su construcción y doble enrollado. Esto es mejor que un applet, mas no experimentación en el sentido digno de la palabra. Es sólo papilla para niños.

Hay, claro está, experimentación observación remota en tiempo real – o casi, teniendo en cuenta los potenciales retardados – pero esta tiene un alcance tan limitado que reduce las ventajas que se enunciaron al principio de este epígrafe. Son casos notorios el monitoreo sísmico o eruptivos de volcanes, el desplazamiento de ballenas en el océano, etc. Sólo que allí nos convertimos en simples espectadores. Sin embargo la tecnología permite desde hace mucho conferir el control a investigadores remotos. Un magnífico ejemplo educativo es el programa OWN²⁶⁵ MicroObservatory²⁶⁶ de la Universidad de Harvard, Estados Unidos de Norteamérica. Allí, un telescopio robótico, operado por control remoto vía Internet, permite que profesores y estudiantes exploren el firmamento con poderosos telescopios educacionales. El proyecto está diseñado para mejorar la educación en ciencias en los niveles secundario y preuniversitario, pero como el tiempo de observación – y el costo de los instrumentos – es preciado, el acceso es limitado y priorizado para profesores y otros educadores. Así se rompe la magia del universalismo y la democracia.

En resumen. Los entornos virtuales de aprendizaje son sólo otra estrategia didáctica. La simulación es sólo una herramienta que modela y perfila. Es, sin lugar a dudas, un gran recurso didáctico e incluso una técnica poderosa en la preparación para la experimentación. Pero ahí se queda, como un buen suplemento, nunca como un

²⁶⁵ N. del A.: Las siglas OWN significan Observing Whit NASA, pero hay también un hermoso mensaje en el juego de letras, pues la palabra también significa tener por si mismo, poseer lo propio. Pudiera interpretarse como que los recursos más preciados del país están ahí para el disfrute de todos.

²⁶⁶ NASA OWN <http://mo-www.harvard.edu/OWN/>

sustituto. No hay experimentación fuera del mundo real. Lo demás son solo eufemismos.

4. 4 Distintas formas de experimentación en la escuela.

La unidad es la variedad, y la variedad en la unidad
es la ley suprema del universo.

Isaac Newton.

Insistiendo una vez más en las diferencias entre ciencia y enseñanza de la ciencia, es oportuno abordar las distintas gradaciones que habitualmente el trabajo experimental tiene en el plano educativo.

Estos esquemas didácticos presentan todos, como elemento común, la exposición de los estudiantes a una realidad conveniente enfocada de modo que su análisis contribuya al objetivo instructivo de la forma más adecuada. Las diferencias entre ellas están asociadas a los tiempos de ejecución, la mayor o menor vinculación del estudiante en su diseño y ejecución, los objetivos epistémicos (observación, comprobación, inducción, descubrimiento), los objetivos instrumentales, así como en los recursos destinados a las mismas.

¿De qué forma podemos experimentar en la escuela las leyes de un fenómeno dado? En este sentido, el curriculista o el maestro – mejor si es este último – pudieran intentar discernir cuál de los siguientes formatos de experimentación elegir en dependencia de esos objetivos, de esas capacidades o competencias que se deseen alcanzar:

- El de la **demonstración de cátedra**, muy próximo a la filosofía de la escuela tradicional y sin que la administración tenga que hacer erogaciones mayores en cuanto a recursos materiales. Las demostraciones son experiencias desarrolladas por el docente en tiempo real, en presencia de un grupo

compuesto por, como máximo, 30 a 40 estudiantes. Una demostración que no sea apreciable es absolutamente contraproducente.²⁶⁷

La participación operativa del alumno es escasa o nula. El estudiante aquí es un mero observador, aunque este factor puede modularse con técnicas adecuadas de predicción - observación - explicación. El momento en que ésta se desarrolla depende de la orientación didáctica que se le quiera dar. Así, hay demostraciones motivadoras en donde el propósito es establecer el quiebre cognitivo anterior a la explicación para llamar la atención sobre un fenómeno cuya explicación no haya sido establecida aún para el auditorium. Las hay de cierre, de confirmación de que lo predicho por el modelo teórico se ajusta en cierta medida a lo observado. Pero también es posible la demostración de falibilidad en la que el propósito es poner de manifiesto los límites de un modelo dado. La demostración es una forma que exige del docente ciertas cualidades histriónicas, ciertas estrategias para “enganchar” la atención casi como un acto de magia. Un error en una demostración afecta más la imagen del docente que un error equivalente en una disertación teórica²⁶⁸. No hay normas preestablecidas, pero generalmente la demostración no es tan rígida en cuanto a lo cuantitativo enfocándose en lo esencialmente descriptivo del fenómeno analizado. Hay, sin embargo, una variante de demostración que se convierte en un análisis teórico en presencia de una experiencia como la que pudiera desarrollarse en un laboratorio convencional. Cuando los recursos sean

²⁶⁷ N. del A.: Aun con grupos reducidos la observación no siempre es apropiada. En estos casos el autor sugiere emplear una cámara u otro dispositivo adecuado para captar y proyectar en pantalla aquellos elementos cuyo tamaño impidan la observación. La estrategia es la misma que en los espectáculos en donde el espectador puede dirigir su atención alternativamente a la pantalla o al objeto real. Queda claro que la diferencia entre estas proyecciones y el video educativo pregrabado es precisamente la realidad inmediata de lo que está ocurriendo.

²⁶⁸ Al respecto, Misiunas *et al* indican que:

“Cada demostración que se presente a los alumnos debe ser acertada, o sea, seleccionada adecuadamente, comprobada en todos sus aspectos... de modo tal que se garantice el éxito de las misma. Las demostraciones desacertadas alteran el curso normal de la lección, siempre provocan desordenes e incluso provocan incredulidad”

Misiunas, G. *et al* (1975): *Experimentos demostrativos en la enseñanza de la Física*. Instituto Cubano del Libro. Ed. Pueblo y Educación. La Habana.

insuficientes, esta variante es preferible a la simulación virtual en la medida que promueve el concepto mismo de experimentación analizado en el epígrafe anterior. Aplican aquí normas menos rígidas en cuanto a la duración, generalmente de uno a cinco minutos, de modo tal que no se afecte el curso de la lección. La eficiencia temporal puede lograrse siempre con una correcta preparación de la experiencia y la previsión de cualquier posible contingencia. Dada su corta duración, las demostraciones se distinguen así mismo por una peculiaridad muy significativa: podrán repetirse varias veces en la medida que el docente considere oportuno para adaptarse a los diferentes ritmos individuales o reforzar su intención. La demostración de cátedra es un medio muy poderoso desde el punto de vista didáctico y no debe menospreciarse su alcance y efecto, siempre que estén convenientemente matizados por la experticia del docente.

- El de la **práctica de laboratorio convencional**, de corte tradicional y deductivo, con una estructura rígidamente predeterminada, conducida por un procedimiento inalterable y una aproximación activa por parte de los aprendices – en cuanto al manipuleo se refiere – pero básicamente pasiva en cuanto a retos cognitivos o propositivos; limitada a un recinto que hace de la ciencia algo hermético y aparentemente aislado del mundo externo. Cientos de estudiantes pueden pasar por estas instalaciones cada semana. Acá, como regla, todo está precocido; desde la preparación teórica necesaria para la experimentación hasta las técnicas e instrumentos que habrán de emplearse. Cada actividad se mide en minutos y segundos. Diseñadas para las grandes masas de población estudiantil, se asemejan más a una línea de producción fordiana que a un intento constructivista de aprendizaje guiado. Esta es una de las críticas más frecuentes a esta forma de trabajo experimental que se asocia a procedimientos prácticos algorítmicos – las llamadas “recetas de cocina” – largas listas de comandos en donde nada se deja al olvido y el estudiante es conducido por vía segura hasta obtener el resultado deseado. Con este tipo de instrucción poco queda del sentido de búsqueda independiente y autodescubrimiento, nada queda para que el alumno participe en el diseño y ejecución del ambiente experimental. El procedimiento es muy eficiente y

controlado, perfectamente tayloriano en cuanto al uso y explotación de recursos materiales, temporales y humanos, pero serías dudas surgen al evaluar el desarrollo de habilidades significativamente cognitivas. La ley del menor esfuerzo es la respuesta que explica por qué, si hay experimentación en la educación, muy probablemente se desarrolle con esta única estrategia.

- El del **entrenamiento** conductista, cuyo enfoque, de extrema relevancia para el mercado laboral, se centra en el cómo y el para qué pero no en el por qué de la acción. Las eternas necesidades inmediatas, la carencia de recursos temporales o la baja preparación previa de los estudiantes son algunas de las excusas más escuchadas. En este enfoque lo importante es resolver la situación propuesta, pero siguiendo patrones trillados más que recurriendo a la heurística. La preparación es responsabilidad del instructor que insiste en códigos y procedimientos que permitan operar el dispositivo o detectar y resolver la situación problemática en el menor tiempo posible. La repetición, la mecánica de la curva de aprendizaje y el sistema de estímulos y refuerzos hacen el resto. La educación técnica, mucho más allá de Freire, sigue siendo eminentemente bancaria. Adaptar una línea de transmisión en telecomunicaciones puede consistir en girar un tornillo hasta que el indicador indique máxima transferencia de potencia... o girar el tornillo a sabiendas de que se están modificando las condiciones de frontera de la ecuación de Helmholtz hasta que se igualen las admitancias de la línea y el conjunto stub-carga. Pero el entrenamiento mecánico es en ambos casos el mismo.
- El del **autodescubrimiento**, de corte constructivista - inductivista, semejante en perspectivas al trabajo de los investigadores empíricos o descriptivos, que pretende que sean los propios estudiantes los que formulen el problema, establezcan el marco teórico y redacten los objetivos concretos de su actividad. La libertad de acción de los estudiantes en este estilo es máxima, promoviendo el pensamiento crítico, reforzando el análisis y la síntesis en cada uno de los niveles en que la experimentación se desarrolla. Pero la actividad resulta muy difícil de acotar en cuanto a recursos, plazos temporales y nivel de independencia. En grupos cuya preparación y motivación sean insuficientes,

las respuestas son, en este caso, muy poco predecibles; el intento, muy poco eficiente. Definitivamente exige requisitos cognitivos y conductivos que no se han alcanzado en la mayor parte de nuestros adolescentes al arribar a la educación superior.

- El de la **investigación** (inquire), en donde los estudiantes generan las interrogantes y desarrollan procedimientos que son facilitados por el profesor. El entredicho primario de este estilo es que presupone la capacidad de cuestionamiento a niveles tales que superan la capacidad real de los jóvenes que no están, en general, conceptualmente preparados. Es, en resumen, un intento por conciliar los dos estilos previos, en la creencia de un equilibrio precario que en la mayoría de los casos termina en el «haz lo que te digo» o «mira a ver a quién le preguntas». Las desventajas curriculares son las mismas: ineficiencia humana, temporal y material, aunada a una absoluta falta de garantía en el resultado.
- El de la **enseñanza basada en proyectos**, deductivo - inductivo, de amplia y probada utilidad en los problemas de lápiz y papel, pero mucho más complejo al trasladarse al plano de lo real-objetivo, de lo experimental. El grupo de estudiantes puede sugerir el tema, en dependencia de su nivel de dominio o de la simplicidad del tema, pero muy frecuentemente es el profesor el que introduce el tema, asigna revisiones, ofrece sugerencias mientras que los estudiantes procesan los materiales teóricos y diseñan los experimentos necesarios para resolver el problema dado. El instructor acá es un mentor invisible que conduce entre bambalinas. La asistencia de un facilitador conduce a la prueba de la hipótesis más que a un resultado independiente, pero sin lugar a dudas fomenta de una forma más dinámica el pensamiento creativo e independiente. Las desventajas curriculares son las mismas: ineficiencia humana, temporal y material, pero la presencia continua del facilitador y sus “sugerencias” marca la diferencia con la investigación pura.

En resumen, y sólo desde esta perspectiva didáctica, parece claro que cada una de estas estrategias ofrece ventajas y desventajas sobre las otras, pero que a su vez,

parecen irreconciliables entre si. Realmente las contradicciones son sólo ilusorias. La práctica docente brinda muy buenos ejemplos de diseños experimentales híbridos en donde un laboratorio comienza o termina con una demostración, en donde un proyecto debe detenerse hasta que los integrantes estén realmente entrenados en el manejo de un instrumento.

El balance adecuado entre ellas, la adecuación y distribución oportunas, la preparación previa de cada una de ellas, es la única salida para contar con una experimentación didáctica efectiva. Hay sinergia más que competencia entre estas formas de aproximación didáctica. Ningún método, ninguna estrategia, ninguna escuela, deberían limitar la creatividad de un buen docente.

4.5 El currículo en ciencias y su entorno social

“Para educar a un niño, hace falta toda la tribu.”
Proverbio africano

No puede intentarse un análisis responsable del currículo en ciencias sin abordar, aunque de forma somera, el ámbito social en el que éste se inscribe. Después del decenio de los noventa, cargado de romance, crecimiento y esperanzas, tan fructífero en utopías, los años del nuevo siglo han traído una vuelta a una realidad menos halagüeña. Como tantos otros flujos y reflujos en la historia, estos últimos años se han caracterizado por el terrorismo, la corrupción, los escándalos financieros y políticos, la desaparición de ecosistemas, la crisis de recursos naturales, el crecimiento incontrolado de la población mundial y el calentamiento global. En Nuestra América, el viejo esquema del caudillismo reviste nuevas formas bajo el ropaje de la pseudodemocracia y el populismo.

Lo educativo no ha estado ajeno a estas grandes conmociones. No ha habido un progreso educativo apreciable en nuestros países. Entre cumbres educativas y ministeriales, entre protocolos diplomáticos y propósitos loables que se solapan de

evento a evento, la realidad sigue siendo casi la misma. No basta con las cumbres, las reformas educativas, las palabras bellas y las buenas intenciones. Ni el estado puede ni el hombre social quiere... o puede.²⁶⁹

Gil Pérez (2005)²⁷⁰ al referirse a las propuestas educativas para la Década del Desarrollo Sostenible UNESCO-OIE (2005)²⁷¹ justificaba el proyecto como respuesta a este clamor de la sociedad conciente:

“... estas impresiones...responden a un doble hecho: por una parte, a las fundamentadas llamadas de atención de los especialistas y sectores dinámicos de la ciudadanía acerca de la gravedad de los problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad que obligan a hablar de auténtica *emergencia planetaria*; por otra, a la constatación de que estas llamadas de atención, que vienen prodigándose desde hace ya algunas décadas, no están teniendo, en general, el debido eco *ni en la ciudadanía, ni en sus representantes políticos*”²⁷²

²⁶⁹ N. del A.: En una aldea de Namibia, una mujer y sus tres hijos talan los escasos árboles para hacer carbón, caminarán luego 35 km para venderlo o canjearlo por maíz para tres días... y así será... mientras haya árboles... No tienen alternativa.

En la contaminada Changchun de la China industrial un matrimonio desearía que su única hija no respirara un aire tan contaminado. Pero saben que primero está el arroz de cada día. El estado debe cimentar la industria, la economía, y luego habrá tiempo de arreglar el problema de la quema de carbón... No tienen alternativas.

En una aldea de Potosí se recibe un computador y el generador fotovoltaico que lo alimentará. Pero nadie llena la brecha digital, nadie se preocupa por cómo ese acceso a la nueva tecnología ha de incidir en el desarrollo personal y comunitario... No tienen alternativas.

En San Marcos, Guatemala, protestan los indígenas contra un proyecto minero a cielo abierto. Les dicen, “los ecologistas” que las minas secarán los lagos y dejarán estériles a los hombres. También “saben” que las agujas de las vacunas provocan esterilidad... No tienen alternativas.

²⁷⁰ Gil Pérez, D. et al (2005): *Década de la educación para el desarrollo sostenible. Algunas ideas para elaborar una estrategia global*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2(1), 91-100.

²⁷¹ UNESCO-OIE (2005): *Iniciativas de la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014)*, <http://www.oei.es/decada/>

²⁷² N. del A.: Las cursivas son del autor de esta Tesis

Los estados y sus gobiernos colapsan ante la violencia, el chantaje, la desestructuración, la ingobernabilidad, y en última instancia, la incapacidad para unir a la sociedad en un proyecto único, humano y racional. Hobbes diría que el Leviatán está grave. El hombre ha dejado de ser lobo del hombre para convertirse en lobo de todo lo vivo.²⁷³

La ciencia y la tecnología son glorificadas y magnificadas como salvación de la humanidad; y vilipendiadas y execradas como causa de nuestra inevitable destrucción. Una vez más el hombre personaliza su necesidad de credo atribuyendo a un ente imaginario, la ciencia, lo que es de su exclusiva responsabilidad e incumbencia. El problema no es científico, el problema es social y particularmente educativo.

Olive²⁷⁴ aprovecha la crisis del brote epidémico del virus de la influenza AH1N1 de 2009 en México para mostrar cuán frágil es la situación, sobre todo en nuestros países. Los expertos evalúan y prescriben, la “masa” acata con más pánico que convencimiento.

Este actuar como rebaño dista mucho del ideal democrático. Olive enfatiza que no sólo es el saber de unos pocos sino la participación informada y responsable de la gente, en ejercicio de su autonomía para actuar, la que debería marcar la forma idónea de combatir estos riesgos. Recalca también que, aún cuando son de gran importancia, los sistemas de divulgación científica no bastan para enfrentar las urgencias. A través de la OEI se abre un portal para debatir estos temas de actualidad apremiante. Pero más allá de la sensibilización, de la tan manida

²⁷³ N. del A.: Aquí aparece nuestro lado oscuro: no va a pasar nada, Dios nos ama. *Laissez faire, laissez passer*. El mundo entero resuena de protestas multitudinarias cuando en junio de 2008 los precios del crudo rebasan los 140 dólares. Desde Londres hasta Calcuta millones han protestado. Una ola inmensa, que nunca habría conseguido Greenpeace, reclama en pie de lucha. Pero no por el corte de las emisiones contaminantes, sino por el abaratamiento del combustible que nos está matando...

²⁷⁴ Olivé, L. (2009): *¿Hasta qué punto los ciudadanos deben “saber”?*. Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica. Organización de Estados Iberoamericanos.
<http://www.oei.es/divulgacioncientifica/index.php>

concientización del problema, poco ha de esperarse de estas disquisiciones que, en busca de lo popular, siguen siendo eminentemente académicas.

La educación debería habernos preparado de forma proactiva para evitar estas crisis. La educación debería proveer de recursos para que la humanidad lidie con tales desafíos, pues es este, precisamente, su primer y más sagrado propósito. En su *“Filosofía de la educación”*, John Dewey explicita el propósito del proceso educativo como aquel por el cual los grupos sociales mantienen su existencia continua, un proceso de renovación de significados que afectan a los individuos en búsqueda de la perpetuación social.

Si este es el propósito, evidentemente la educación está fallando.

Las tensiones sociales, generalmente manifiestas en la ciencia, a veces exhiben ribetes cómicos en nuestros currícula. Ya no se trata de sólo de enfoque, paradigma y prospección: presiones de grupos de poder hacen de los currícula cuerpos más bien folklóricos que científicos. En los Estándares Educativos para Ciencias Naturales y Tecnología del Ministerio de Educación de Guatemala MINEDUC (2006) se leen como estándares para el sexto grado en el área de ciencias:

“Relacionar los procesos celulares y la herencia como fundamento del origen y la evolución de la vida desde el punto de vista científico y la cosmovisión de los Cuatro Pueblos”

“Explicar el origen de la Tierra y del universo desde el punto de vista científico y de otras cosmovisiones”²⁷⁵

De la teoría evolucionista de Darwin, al Popol Vuh; de la temperatura relicta de 3 K a las cuatro cosmovisiones ladina, maya, xinca, y garífuna.

Pero los sesgos en el currículo de la ciencia no son exclusividad de los países en desarrollo. Maienschein (2004)²⁷⁶ narra las batallas por incluir en el currículo de

²⁷⁵ MINEDUC (2006): *Estándares Educativos para Ciencia Naturales y Tecnología*. Ciclo Básico. USAID.

²⁷⁶ Maienschein, J. (2004): *Laboratories in Science Education: Understanding the History and Nature of Science*. The National Academies Press (NAP). Washington, D.C.

ciencias del poderoso estado de Arizona, la teoría evolucionista de Darwin. Bien sea por inclusión o exclusión, pero siempre bajo la presión de grupos de poder, el currículo se verá forzado. La inquisición sigue viva adoptando nuevas formas. En todas partes, en todo tiempo, seguiremos cocinando habas. El papel que los profesores jugaron en Arizona debe convertirse en un caso de estudio sobre la actitud de la academia progresista y de lo que el activismo en la educación de las ciencias puede lograr.

¿Qué podemos hacer para crear alternativas?

Queda claro que instruir en ciencias no es suficiente. Esto no será relevante si no se consigue, a la par de estas capacidades, el desarrollo de un civismo y una ética social que debe sustentar toda la educación. Si lo social tiene primacía sobre lo científico-tecnológico, es en lo social donde habrá que buscar lo que genera los conflictos y problemas vinculantes a los nuevos retos. Es aquí dónde subyace el problema y por tanto el reto educativo.

El currículo de ciencias requiere de nuevos aires. Hofstein y Lunnetta (2004), a la luz de varios metaestudios curriculares de ciencia experimental, aclaran el porqué tales proyectos siguen adoleciendo de ineficiencias e incompletitudes.

“Aunque estos estudios curriculares mostraron algunos efectos positivos en el aprendizaje de los estudiantes de ciencia, el impacto fue limitado debido a deficiencias en la difusión y la ejecución de estos proyectos curriculares.”²⁷⁷

En otras palabras, deficiencias en la comprensión, en la ejecución y en la voluntad para sostener la constancia de tales proyectos.

Por su parte, el destacado e influyente investigador Dereck Hodson (2003) se refiere a este hecho señalando que si bien se ha logrado un avance significativo en cuanto a

²⁷⁷ Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88 (2004): 28-54.

la comprensión del papel de la ciencia y su enseñanza durante los últimos veinticinco años, es tiempo de obrar en dos sentidos:

“Primero, actuando sobre un currículo de ciencias que ya no reúne los intereses, necesidades y aspiraciones de la gente joven. Segundo, reorientando el currículo de ciencias hacia la acción sociopolítica. Si los actuales problemas sociales y ambientales deben ser resueltos, necesitamos una generación de ciudadanos científica y políticamente preparada que no esté contenta con el papel de «crítico de butaca»”.²⁷⁸

El currículo debe ser dirigido a formar activistas: personas capacitadas que estén dispuestas a luchar por lo correcto, por lo bueno y justo, personas dispuestas a trabajar en pos de una remodelación de la sociedad a lo largo de líneas de mayor justicia, gente que esté dispuesta a trabajar vigorosamente por los mejores intereses de la biósfera. En el corazón de este nuevo currículo estará el compromiso para realinear los valores de la sociedad occidental industrializada. Estos objetivos no podrán alcanzarse mediante aproximaciones curriculares convencionales y la educación de profesores. Hudson propone una unión entre *investigación-acción* e involucramiento de la comunidad.

Hudson insiste en una preocupación especial entre la educación en ciencias, la globalización económica, la producción creciente y la expansión ilimitada, factores ellos que ponen en riesgo a la libertad individual, el bienestar individual y la suerte de la humanidad. Este punto de vista axiológico, desde la perspectiva de qué debemos priorizar en la formación científica, es uno de los tantos reclamos que se le hace al actual currículo en ciencias.

²⁷⁸ Hodson, D. (2003): *Time for action: science education for an alternative future*. International Journal of Science Education, Volume 25, Issue 6

Millar (2009)²⁷⁹ es también enfático en que esto no podrá alcanzarse *sólo* desde la perspectiva científica. Al contestar sobre la ciencia que necesitamos para todos advierte que no sólo necesitamos aspectos que involucren ciencia y tecnología, sino también otros tipos de conocimientos y valores. En suma: una educación integral. El gran reto educativo contemporáneo radica en la Alfabetización Científica y Cívica²⁸⁰, un intento por garantizar, en la medida de las posibilidades, que el mayor número posible de ciudadanos entienda la ciencia, su naturaleza y la tecnología asociada a un nivel tal, que les permita vivir en este nuestro mundo, y capacitado para tomar decisiones éticas e informadas sobre preguntas referentes a tópicos científicos. (Moore 1988)²⁸¹

Dar respuestas oportunas a estos retos e interrogantes será el trabajo de una generación de curriculistas de la ciencia – de la educación toda – que no podrán provenir aisladamente ni del terreno de los científicos practicantes, inmersos en su hacer ciencia, ni de los epistemólogos de la naturaleza, siempre en busca de la piedra filosofal, ni de los psicólogos cognitivos enfrascados en distinguir la “textura” entre imagen y percepción, ni de un claustro académico ya rancio en sus mañas de enseñar según la propia cuartilla.

²⁷⁹ Millar, R.(2009): *Teaching the sciences as liberal arts –which, of course, they are.* Journal of College Science Teaching,17, 445.

²⁸⁰ N. del A.: ¿Qué tiene que ver un curso de Física con el Holocausto? No puede haber un escenario, por modesto que sea, que no se abra para clamar, para exigir que la gente piense más allá de las leyes de la naturaleza, de los símbolos de la lógica fría, de los ceros y los unos.

El Dr. David M. McKinstry (McKinstry 2007) es profesor emeritus de la Eastern Washington University, es docente del curso de Física General (Physics 115)... y es descendiente de uno de los sobrevivientes de Auschwitz. Usa su portal de ciencia para hacer ciencia, pero también para exponer, en un video personal, el campo, húmedo y tenebroso. El clip no clama por venganza, por validación, ni siquiera por denuncia, sino por advertencia de lo que, en vista de lo sabido, en vista de lo que creemos saber, en vista del dogma sin duda, puedan los humanos convertirse en arrogantes y asesinos. La enseñanza de la ciencia debe trascender lo eminentemente formativo para llegar a “tocar la gente”. «We have to touch people» dice David, el anciano, mientras que de rodillas, hunde sus manos en el lodo formado por las cenizas de cuatro millones de seres humanos.

Knowledge_or_Certainty_Finale.wmv <http://dmmsw.org/Classfiles/Physics115/Videos/>

²⁸¹ Moore, J. (1988). *Teaching the sciences as liberal arts –which, of course, they are.* Journal of College Science Teaching,17, 445). Citado por Millar (2009)

David D. Thornburg, con la experiencia de medio siglo en estas lidias, pone de manifiesto que hoy sabemos lo que trabaja y lo que no lo hace. En su artículo *Have We Hit A "Sputnik" Moment Again?* concluye:

“Cuando se analizó la transformación curricular desarrollada a partir del PSSC se puso de manifiesto que fueron factores sociales, internos y externos los que permitieron tamaño adelanto. Hubo un evento singular que captó la atención de la sociedad, hubo un alto dirigente que se pronunció con compromiso y decisión y ya había una semilla de lo que el nuevo currículo debería ser. Cincuenta años más tarde hay un amplio consenso de que los modelos psicopedagógicos basados en proyectos e investigación guiada permiten un aprendizaje significativo y sólo faltaría ponerlos en las manos adecuadas en una escuela que provea las necesidades básicas”²⁸²

Claro está que se requiere de recursos y de manos adecuadas. Pero esto – a pesar de la afirmación de Thornburg – aún no es suficiente. Aún falta la participación de la tribu, esa tribu global y local, esa tribu de lo singular a lo universal sin la cual ningún proyecto educativo tendrá éxito sostenido. Más que otra reforma, es necesaria una revolución educativa. Necesitamos otro sputnik.

²⁸² Thornburg, D.: op. cit.

PARTE III PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5- Un modelo viable para la experimentación en la enseñanza de la Física

He aquí las verdaderas causas (de la mala educación):
Primera, que no había objetivos determinados ni metas fijas a las que hubiesen de llegar los discípulos en cada año, mes o día y todo era indeciso.

Segunda, que no se determinaban los caminos que infaliblemente habían de conducir a la meta.

Tercera, que lo que naturalmente está unido no se consideraba conjuntamente, sino por separado.

Comenius. *Didáctica Magna*

En el capítulo anterior se han establecido algunas de las ventajas y desventajas que la experimentación posee como herramienta didáctica para la enseñanza de la ciencia. Multitud de investigaciones han sido conclusivas en el sentido de que el trabajo experimental no promueve un mayor volumen de información dominada y puede ser tan ineficiente como cualquier otro método instructivo. Pero también, ochenta años de estudio indican que sí hay diferencias en cuanto a la motivación, la retención a largo plazo, el desarrollo de habilidades y manualidades, y el sentido de concreción de la educación toda. Las ventajas bien pudieran ser clasificadas en epistemológicas, de adiestramiento, instructivas y sociales.

Epistemológicas

- La teoría humana responde al experimento, que a su vez está cargado de teoría.
- La realidad es infinitamente compleja y el ser humano intenta describirla y predecirla mediante modelos.
- Tanto la teoría como el experimento son falibles.
- El experimento siempre implica errores.

De Adiestramiento:

- Más allá de las maquetas y los simuladores las capacidades y habilidades sólo se consuman en la práctica.
- El entrenamiento facilita aprender a construir, a armar y a concretar ideas y proyectos.

- Hay consenso en el sentido de que la experimentación en una rama de las ciencias contribuye a desarrollar destrezas y habilidades que trascienden esta rama específica.

Instructivas:

- Propicia la observación, el análisis y la síntesis que conducen al descubrimiento.
- Fortalece el sentido de constancia, perseverancia y responsabilidad.
- Facilita la revisión y el aprendizaje independiente fuera del aula.
- Facilita la comprensión de las relaciones multidimensionales entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente y en resumen toda la vinculación teoría práctica.

Sociales:

- Promueve la comunicación interpersonal, el trabajo en equipo y las redes sociales.
- Sirve de marco para una ética que debe trascender los intereses inmediatos del grupo.

Huelga aclarar que el listado de estas potencialidades nada tiene de correlativo ni de excluyente y que, en muchas ocasiones, una actividad experimental puede incluir a varias de ellas o a una sola. Estas ventajas tienen una contraparte asociada: el trabajo experimental resulta más caro en cuanto a recursos materiales, temporales y humanos. Los factores financieros siempre implican mayores tensiones en la estructura educativa. Si el dinero existente no alcanza para satisfacer las demandas de los maestros, de qué experimentación podemos hablar. Las aulas nunca alcanzan y aun cuando los locales experimentales sean usados con sensatez y probidad, la tasa de retorno de capital de un laboratorio didáctico nunca podrá compararse con la de un aula ordinaria. Los equipamientos experimentales son caros, delicados, susceptibles a rápido envejecimiento, depreciación, daño y extravío. Cuando la administración equipa un aula, sabe a ciencia cierta cuán rentable será su inversión, cuáles los plazos de amortización, cuáles los gastos anuales por mantenimiento. Con los locales de laboratorio para la docencia de las ciencias, las ventajas terminan en la imagen de la institución, un concepto demasiado abstracto y polisémico como para ajustarse con facilidad a las políticas y filosofías de los grupos de poder. Lo importante es tener lo

mínimo necesario para garantizar el “*check list*” a la hora de la acreditación o la propaganda. Lo demás es cuestión de la ley del mínimo esfuerzo.

Por añadidura, el administrador educativo, nada quiere saber de actividades cuyos términos no son precisos. Todo debe tener su espacio en el diagrama de Gantt. Lo importante no es cómo se desarrolle el proceso educativo, sino cuándo comienza y termina cada actividad. Lo importante no es cómo se relacionen y complementen los distintos programas, las distintas asignaturas, sino justamente lo contrario: que cada una permanezca autónoma de las otras en un desarrollo estrictamente paralelo. Aquellas actividades cuyas finalizaciones son vagas e imprecisas no permiten, ni una evaluación, ni una ordinalidad que garanticen el tránsito de un ciclo a otro.

De crucial importancia es el papel que juega el profesor en este balance entre teoría y práctica. Un profesor instruido, original y motivado puede conseguir, con mínimos recursos, resultados fabulosos. Hay muchos y buenos ejemplos al respecto. Pero también hay muchos y malos contraejemplos²⁸³ en donde, detrás de una máscara constructivista, se esconde el inepto y el vago. Muchas de estas formas didácticas pueden ser adulteradas y trucadas de modo tal que respondan al eslogan de la corriente educativa de turno, mientras que consiguen en la práctica destruir generaciones completas.

Esta es la situación en el llamado primer mundo. En los países de América Latina muchas dificultades se añaden a un proyecto de educación científica experimental en el marco de lo cultural e idiosincrático. Tan rotundos son los fracasos de promover una cultura científica ciento por ciento autóctona, como aquellas copias burdas que pretenden extrapolar las formas experimentales del primer mundo a nuestras escuálidas posibilidades. En este sentido es frecuente encontrar intentos didácticos de crear en nuestros laboratorios sistemas de captura y manipulación de datos que a la

²⁸³ N. del A.: Hay muchos ejemplos de errores interpretativos al abordar el uso de las nuevas herramientas y metodologías didácticas, aun confiriéndole el beneficio de la duda al docente. Recuerdo haber visto, no que lo haya escuchado, visto profesores que basándose en tesis constructivistas llegan a clase, hacen abrir los ordenadores a los alumnos y se dedican a leer la prensa bajo el supuesto de que es el alumno el centro, que sólo en él, en el alumno y la tecnología, está la capacidad innata e iluminada de construir su aprendizaje. ¿Ilusión, incompetencia u oportunismo?

larga resultan más caros e ineficientes que los que ya están en el mercado. Como experiencias de aprendizaje son magníficas; como vías para masificar la experimentación, nada productivas.²⁸⁴ Tampoco son extraños los pedidos y solicitudes de equipamiento que exceden en mucho las posibilidades, potencialidades y necesidades del centro. Estos son los maestros que quieren recrear en Chiapas, las condiciones experimentales de los laboratorios del MIT.

A la par se suman los intentos por extrapolar mecánicamente las formas de experimentación del primer mundo presuponiendo que, si fue hecho por alemanes, “es bueno y tiene que funcionar”. El autor de esta Tesis ha revisado laboratorios, proyectos e investigaciones cuyo mero planteamiento indica un total desconocimiento de los retos – y peligros – que conllevaría su realización por parte de los estudiantes. También son frecuentes los buenos proyectos que mueren al nacer por la inexperiencia o superficialidad del docente.²⁸⁵ Y bienaventurados aquellos que puedan gozar de tales experiencias, de tales privilegios, por erráticos e imperfectos que estos sean.

²⁸⁴ N. del A.: De la Vida Real. El autor realizó algunos de estos proyectos en la década de los noventa. Véase por ejemplo, Méndez, B. et al (2000): *Ambientes inteligentes para la investigación experimental*. Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico. Universidad Francisco Marroquín. Asesor: A. J. León Burguera.

²⁸⁵ N. del A.: De la Vida Real. Un prestigioso colegio local hace que los estudiantes, formados en pequeños grupos, fotografíen chorros de una misma manguera a distintos ángulos de lanzamiento. Deben emplear referencias para llevar a escala las imágenes impresas. Luego se crea un “caso de estudio” dónde se debate, sobre la base de estas evidencias, si pudo un individuo haber mojado o no con esa su manguera la casa del vecino. Se da una descripción oral, pero precisa, de la ubicación de ventanas, vallas y arbustos de modo tal que los estudiantes deben leer, interpretar y representar en imágenes todo el entorno antes de comenzar la discusión. *Hands-on* en la experimentación, discusión abierta sobre la base de evidencia objetiva, trabajo grupal, pruebas de hipótesis... Todo parece ir sobre ruedas. Pero un análisis más minucioso de los reportes hace ver el proyecto como una estructura llena de grietas. Las fotos no contienen los patrones internos, las escalas estimadas no se corresponden cualitativamente, los cálculos numéricos son erróneos, las alturas de la salida varían considerablemente de una a otra foto, los estudiantes no hacen uso racional de las ecuaciones cinemáticas y, quizás por la premura – sólo dos días – en definitiva no entienden de qué se trata todo este jaleo pues entre las distancias abarcadas por el experimento y la hipótesis sobre el vecino culpable no hay lugar a duda sobre su más completa inocencia. Sencillamente no hay caso para las distancias teóricas impuestas por el problema y el alcance real del raquíptico chorrillo del experimento local. El proyecto puede haber sido bien concebido en Seattle, pero mal ejecutado en Mixco. El profesor local da al traste con el mejor currículo.

Si esta Tesis intenta superar el nivel de la oratoria simple, de la propuesta apasionada más no fundamentada, deberá proponer vías concretas y factibles para permitir que la experimentación se abra camino dentro de la educación científica en Nuestra América. Este es el propósito de presente capítulo, que sin pretender dar respuestas últimas, sí intenta comentar experiencias, ilustrar aciertos y desaciertos, romper esquemas y leyendas escolares que constituyen los verdaderos grandes impedimentos de la educación científica en Latinoamérica.

5.1 Vamos a experimentar, ¿pero... qué, para qué, para quiénes, dónde, cuándo, y sobre todo... cómo?

"Lo deseable en innovación educativa no consiste en que perfeccionemos tácticas para hacer progresar nuestra causa, sino en que mejoremos nuestra capacidad de someter a crítica nuestra práctica a la luz de nuestras creencias y a la luz de nuestra práctica".

Lawrence Stenhouse

Supóngase que ha quedado claro que los trabajos experimentales no pueden quedar fuera de la intención educativa. Ya es un éxito. Pero al llegar a este estadio inicial, es cuando surgen las preguntas de mayor tensión entre curriculistas, directores, administradores y maestros: ¿pero... qué, para qué, para quiénes, dónde, cuándo, y sobre todo... cómo?

Tal y como ocurre en toda intervención educativa afloran aquí las 5W²⁸⁶ de la retórica clásica... y aún queda pendiente la H. Contestar a estas preguntas desde un punto de vista contemporáneo, exige:

1- Entender la experimentación docente como actividades cuyos propósitos múltiples deben ser cuidadosamente diseñados.

Hay dos tendencias muy extendidas en la praxis experimental desde el punto de vista teleológico. La primera establece que lo importante es hacer sin parar mientes en el

²⁸⁶ N. del A.: Se hace alusión al llamado criterio de la 5W y la H, un criterio de investigación-acción que toma su nombre de las siglas de Who, What, When, Where, Why y How. (Quién, qué, cuándo, dónde, por qué y cómo)

porqué hacer. Declarar las competencias concretas que cada actividad – y la educación toda – pretende conseguir es obligatorio para toda acción educativa, pero ni la macro ni la micro intencionalidad están siempre presentes en el diario acontecer. Es preciso establecer y reiterar lo general (lo cultural, lo epistémico) y lo específico (el entrenamiento, lo instrumental).

La segunda tendencia, es la de aceptar o asumir que una actividad experimental ha de servir *sólo* para un objetivo específico. La problemática de hallar vías concretas para el trabajo experimental ha devenido en una segmentación instrumental de los objetivos que enfatizan e individualizan la operatoria, la observación, la búsqueda de patrones internos, la formulación de posibles hipótesis, etc.; pero sin una argumentación orgánica y coherente de cada una de éstas. Aflora en este sentido, la propensión a parcializar sobre bases pragmáticas lo útil de lo trascendente: entrenamiento, instrucción y educación son concebidas como diferentes fases en la formación; pero estas fases son vistas de un modo tal que no pueden solaparse, inferirse o correlacionarse entre sí. No son ni tan siquiera deseables como objetivos específicos en muchos programas. Por ejemplo, en un programa técnico para análisis de hidrocarburos, se enfatiza en el adiestramiento del operario en el uso y manejo de un Pinsky-Martin para la determinación del punto de ignición, pero poco se hace para lograr la comprensión de cómo cambia la presión de vapor en la superficie con el aumento de la temperatura. Ese no es *un* objetivo. La competencia termina en lo pragmático utilitario.

Hacer por hacer nos conduce al empirismo ingenuo. El hacer debe estar indisolublemente ligado a los múltiples qués y porqués apreciando – aunque no necesariamente aplicando al unísono – las múltiples oportunidades que un experimento puede brindar desde el punto de vista educativo. Un ejemplo por excelencia de tales sesgos es el tratamiento dado a lo epistémico en las actividades experimentales. Dos son las formas comunes: se obvian o se concentran en una primera experiencia asociándola al llamado método científico. Todo docente con algunos años en el oficio sabe que hay momentos excelsos para intercalar la cita, hacer la historia, desarrollar la experiencia. Ese es el momento y el lugar. Pero detrás de estos momentos coyunturales hay bastante de lo aceptado sin cuestionamiento, de lo

impuesto culturalmente. A veces mayor, a veces menor, pero la oportunidad de resaltar lo epistémico está presente en cada actividad. Convenientemente graduado y matizado, lo epistémico pudiera estar presente siempre.

Pero si torpe es experimentar sin sentido de propósito, quimérico es intentar que cada actividad experimental – siempre limitada en tiempo y recursos – logre ese cierre hermenéutico en donde se concrete toda la naturaleza de la ciencia. La literatura esta llena de estos intentos, ejemplos y contraejemplos que pretenden encapsular en una actividad experimental, toda la necesidad recíproca entre la teoría y la práctica.

A la par de la bruma sobre los propósitos de la experimentación aparece otra singularidad del trabajo experimental: la evaluación. Al controversial y muy delicado tema de la evaluación educativa se le añaden ribetes surrealistas: la evaluación del experimento ¡es generalmente teórica! La experimentación, como herramienta didáctica, es el santo grial de la locura educativa.

El arte y la ciencia de la práctica pedagógica no bastan para garantizar el éxito en el trabajo práctico y aquí, más que en la enseñanza de lápiz, papel y pizarrón, son más bellos los cantos de sirenas. Los maestros queremos pensar que los estudiantes piensan como queremos que piensen. Son sólo ilusiones. El estudiante conecta y opera, mide y evalúa con seguridad e incluso cierta destreza, pero en el fondo sólo hay una réplica mecánica de algoritmos y manualidades que no llega a la esencia del objetivo propuesto.

Este comportamiento pragmático bien pudiera ser una respuesta natural de los humanos o una vía de escape para resolver problemas concretos. La curiosidad y el análisis crítico, preconizados como emblemas de nuestra especie, no son ni automáticos, ni universales, ni de largo plazo, y en ocasiones, ante las expectativas concretas del problema planteado, seden en tantas heurísticas como seres habitamos

el planeta.²⁸⁷ En un juego de video el adolescente mueve el *joystick* y después de un breve aprendizaje lo incorpora como una extensión de su cuerpo sin pensar ni una vez cómo ocurre el milagro que conecta el movimiento de su mano con el efecto en la pantalla. En una sesión de experimentación los jóvenes disponen el equipamiento, inician la captura de datos, registran, grafican la data, obtienen los parámetros exigidos... pero fuera de ello, no hay más que una sucesión de cuarenta “*clicks*”. Se materializa aquel temor de Hanna Arendt²⁸⁸ en el que se separan conocimiento y pensamiento: puedo hacerlo, pero no lo entiendo. Lo pragmático muchas veces impregna lo cognitivo haciendo que las destrezas vayan de la mano al codo, pero sin llegar nunca al cerebro.

2- Entender la experimentación como un todo orgánico y no como la suma de actividades aisladas.

Lo experimental puede y debe ser concebido en el currículo como una matriz espacio temporal que enlace todo el proyecto de ciencias, como una plataforma de la que se parta y a la que se regrese de forma sistémica. Uno de los grandes desaciertos en cuanto a la investigación didáctica de lo experimental es intentar concretar, en *una* experiencia, toda la aquiescencia de la teoría pedagógica especializada. Una pintura de Georges Seurat, está compuesta de miles de puntos concretos y es la integración de los mismos, la que conforma la imagen total. Así mismo, cada actividad experimental ha de tomar valor pleno en el conjunto de las

²⁸⁷ N. del A.: De la Vida Real. Hace algunos años observaba a una niña en el Parque de Las Lavanderas, Antigua Guatemala, cuando tejía una flor en su pequeño telar de cintura. Por sencillo que parezca, debe seguirse un intrincado procedimiento de tramas y urdimbres en donde miles de hilos de varios colores se entrelazan de una forma precisa. Las tejedoras mayores colocan a veces un papel con un esquema sobre el telar a manera de guía, pero esta niña, de no más de siete años, lo hacía al parecer sin ayuda alguna. Un educador con “mentalidad científica”, debería suponer que la niña había logrado descifrar el secreto de la pequeña flor siguiendo un procedimiento analítico-inductivo similar al que llevó a Champollion a descifrar la Piedra de Rosetta. Nada más alejado de la realidad: la pequeña niña había memorizado el código de colores línea por línea en lo que para un foráneo pudiera traducirse en el esfuerzo titánico de memorizar una matriz 100×100 . ¡Y sabía otras muchas figuras! Hay tantas heurísticas como seres humanos.

²⁸⁸ Arendt, H.: (1993): *La Condición Humana*, Ed. Paidós, Barcelona. Citada por Tedesco; Tedesco, J. (1999): *El Nuevo Pacto Educativo*. ISBN: 84-207-6613-5. Grupo Anaya, S. A. Madrid.

vivencias educativas. Como en el mejor estilo puntillista, como en el mejor collage en donde fondos e imágenes pueden superponerse, complementarse o diluirse al pasar de lo discreto a lo continuo, de ese modo debe concebirse la experimentación. Las leyes de Newton pueden contrastarse no en uno, sino en decenas de experimentos, no en un laboratorio, sino en una demostración, una investigación dirigida, un proyecto... Acá se hace imprescindible la participación de un *buen* curriculista en el sentido de sugerir el qué y el dónde.

3- Romper el estereotipo que promulga la excelencia y el rigor de un experimento con el costo de los instrumentos y materiales.

Queda claro que sin una base material adecuada no se pueden desarrollar muchos experimentos específicos. Es muy difícil apreciar el efecto Hall empleando papel de aluminio o intentar construir un disco de memoria magnética en casa. Eso es casi obvio.

Pero lo que no se reconoce con la misma facilidad es la contrapartida. Hay experimentos que pueden desarrollarse con materiales muy sencillos pero que logran un cierre hermenéutico perfecto. Niels Bohr y Wolfgang Pauli fueron dos de los más grandes científicos del siglo pasado.

Una fotografía²⁸⁹ antológica los muestra inclinados torpemente, como buenos septuagenarios, mientras experimentan con un trompo inversor, uno de esos juguetes baratos que ha cautivado a la humanidad durante mucho tiempo. Al fondo, uno de los institutos de física avanzada más notables de Europa espera que los señores terminen con el “jueguito” para quedar oficialmente inaugurado. ¿Seniles, listos para comenzar el tratamiento de Alzheimer? Es muy poco probable que, con todo un nuevo instituto para explorar, estos dos genios aparezcan ensimismados frente a un simple juguete... a menos que aceptemos que hay tanta o más grandeza en las cosas pequeñas y simples como en las fastuosas y barrocas. *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* ha dicho Ockam.

²⁸⁹ La foto fue tomada por Erik Gustafson en 1954 durante la inauguración del Instituto de Física de Lund, Suecia. Véase AIP Emilio Segre Visual Archives, Colección de Margrethe Bohr.



El buen maestro, como de la zeolita, es capaz de sacar agua de la piedra.

4- Reiterar los mismos experimentos pero en planos dialécticos superiores.

La superposición y la reiteración han sido elementos claves en la pedagogía desde tiempos remotos. La reiteración, en este contexto, nada tiene que ver con la repetición mecánica ampliamente denunciada por Freire²⁹⁰ en contra de la educación bancaria, sino con la *re-citación* de Dewey²⁹¹, un volver a la experiencia pero con nuevos retos cognitivos.

¿Por qué excluimos lo experimental de esta fórmula ancestral, por qué pretender que con sólo un experimento se logre la impronta imperecedera? Es cierto que hay experiencias cuya carga es tal que marcan de por vida, casi traumáticamente, pero intentar que cada experiencia logre este alcance, es utópico y muy probablemente

²⁹⁰ Freire, P. (1975): *Pedagogía del Oprimido* ISBN: 978-84-323-0184-1. Editorial: Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid

²⁹¹ N. del A.: Para Dewey “la verdadera recitación es el momento propicio para estimular y orientar la reflexión”. La recitación significa justamente todo lo contrario al parloteo mecánico. Dewey ve en la recitación la oportunidad de estimular la curiosidad intelectual, de orientar el trabajo intelectual, de organizar el conocimiento y evaluarlo.

Dewey J. (1989): *Cómo pensamos*. ISBN: 84-7509-514-3. Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona.

conducente a formar individuos traumatizados. Hay experimentos que pueden desarrollarse a diferentes niveles cognitivos, o partiendo de fundamentos y premisas epistémicas diferentes: No se repite, sino se vuelve en espiral dialéctica en un plano cognitivo superior. Desde el punto de vista didáctico, un mismo montaje experimental puede ser empleado como demostración a estudiantes preuniversitarios, como práctica convencional en los primeros años de la universidad o como tesis de grado para intentar esclarecer algunas anomalías curiosas de la instrumentación o la teoría. Pequeñas variaciones de ese mismo montaje experimental permiten explorar infinitud de facetas cognitivas.²⁹²

A modo de ejemplo: Dos metros de hilo, un objeto cotidiano y un kilogramo y medio de ingenio bastan para recrear la inmensa aventura del péndulo que Galileo inició hace cinco siglos. Puede comenzarse con la periodicidad del movimiento, la relación entre períodos y longitudes, la determinación de la gravedad... lo convencional. Pero luego pueden modificarse volúmenes o formas para obtener una curva amortiguada e inferir el “valor experimental de e ”. Si e es uno de los números de Dios, si Dios es omnipresente, en cualquier rincón podemos hallar el valor de e , no como serie, no como límite, no como relación de Euler, sino como un número inferible por aproximación de la experimentación con las cosas cotidianas. Más tarde pueden ensayarse amplitudes grandes en cuyo caso la aproximación $\sin \theta \approx \theta$ ya no es estrictamente aceptable y se requiere reconstruir todo el modelo matemático resolviendo una ecuación diferencial no tan sencilla. Pero aún faltan los péndulos quebrados, los acoplados, los caóticos, los físicos (si el objeto que hace de peonza tiene dimensiones del orden de la longitud del hilo). Y qué tal si lo hacemos cónico circular... o elíptico para remedar las leyes astronómicas de Kepler, o lo filmamos dentro de un ómnibus y correlacionamos el ángulo con la variación de la

²⁹² N. del A.: Como señala el Dr. Olmedo España, es difícil encontrar una idea *realmente original* en educación. Muchos de estos preceptos ya han sido esbozados y estudiados en sus perfiles filosóficos. Este es el caso del destacado curriculista Ralph Tyler quien, ya en la primera parte del siglo XX, resumía este enfoque abierto cuando escribía al respecto:

- Hay muchas experiencias concretas para lograr un mismo objetivo
- Una misma experiencia puede generar resultados diferentes

Tyler, R. (1969): *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. The University of Chicago Press. ISBN: 0 -226 -82031- 9 Chicago.

velocidad, o lo usamos como Foucault para demostrar la rotación del plano como consecuencia de la fuerza de Coriolis, o lo torcemos y convertimos en un péndulo rotacional, o lo empleamos para estudiar las corrientes de Eddy en presencia de un campo magnético, o lo hacemos girar en nuestro dedo de modo tal que a medida que se acorte el hilo aumente la velocidad angular tal y como predice ese elusivo Principio de Conservación, presente en el micro y macromundo, pero tan poco experimentado en nuestros cursos. Con dos péndulos puede ensayarse la Ley de Coulomb, ejemplificar la Conservación de la Energía, mostrar los distintos tipos de interacciones mecánicas... Y la lista – ciertamente diatribica – puede extenderse grandemente, justo hasta donde alcance el kilogramo y medio de ingenio.

Hay miles de ejemplos de este tipo, verdaderas joyas de la corona de Minerva que, sin la necesidad de gastos prohibitivos, abren tremendas posibilidades para la experimentación. Claro que esto exige un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido.

5- Hacer trascender la experimentación sobre lo disciplinario.

La integración debe trascender las formas típicas de experimentación, superar las diferencias entre el desarrollo de la teoría y el experimento, e intentar refundir la ciencia en un proyecto interdisciplinario, un esquema que supere los límites canonizados de cada asignatura.

¿Por qué está tan ausente la experimentación de los cursos de Matemática? Más allá de su relativa independencia epistémica, el fenómeno es cultural: de un lado, la división social del trabajo instaurada en el esquema rígido de las disciplinas, del otro lado, la reminiscencia de una tradición racionalista platónica en la que los seres humanos son por excelencia racionales cuando abandonan el mundo empírico. Los cursos de Matemática, incluyendo los propios de la educación superior, están llenos de aplicaciones a la naturaleza y la sociedad. La matemática se hace popular – y necesaria dentro del marco educativo – justo en la medida en que se hace imprescindible para resolver los problemas de la vida cotidiana, una cotidianidad factible de ser analizada y contrastada por vía experimental. En realidad, no hay razón alguna para excluir la experimentación y todas sus ventajas de los cursos de Matemática, pero en la práctica, un docente “tradicional” de esta disciplina se sentiría

incómodo rodeado de artefactos e instrumentos: eso se vería mejor en los cursos de ciencias naturales, son los físicos, los químicos y los biólogos los que deben “ensuciarse las manos”.

Nada más alejado de una visión crítica y compleja de la educación sistémica. El péndulo, ya mencionado es portentoso para ver cómo *da a luz* a la función raíz cuadrada; la descarga de un recipiente, de un capacitor eléctrico cargado, son elementos naturales para demostrar que el irracional e es tan *real* como el 0 ó el 1. Pero hay más. Muchas estructuras matemáticas serían rarezas engavetadas si la experiencia real no les confiriera un sentido de necesidad inmanente. La representación conforme y los problemas de Dirichlet y Neumann serían meras curiosidades empolvadas si no tuvieran una aplicación inmediata a los problemas de la Electrodinámica, la Hidrodinámica y la Teoría del Calor.

El problema de la integración curricular no debe verse como la fusión armónica de disciplinas distintas sino como distintos modos de abordar un único ente de estudio. La tradición educativa, en busca de la eficacia, la eficiencia y lo óptimo, ha dado por sentada la división social del trabajo docente, una segmentación disciplinaria que intentando hacer más con menos, intentando dar vida a lo inerte, puede terminar creando verdaderos Frankensteins. Este es un tema emergente y aún puntiagudo que comentaremos más adelante.

Pero ¿cómo poner de acuerdo al claustro para evitar trasposiciones y redundancias? Acá se hace imprescindible la participación de un *buen* curriculista en el sentido de sugerir el dónde y el para qué.

6- La tecnología educativa es necesaria y asequible.

Prima, entre educadores y políticos, la tesis de que el equipamiento moderno es caro y por tanto exclusivo para el “primer mundo”. Eso es cierto, pero sólo de forma artificial.

Las tendencias de las nuevas tecnologías para la captación, procesamiento, presentación y comunicación de la actividad experimental indican una continua

reducción de precios en la medida que se miniaturizan los componentes²⁹³, se masifican los usuarios y se eliminan los monopolios. Un ejemplo palpable de este fenómeno es la tenencia de teléfonos celulares. En muchos lugares del mundo el equipo se regala confiando en que el uso intensivo y el servicio extensivo en cuanto a población y cobertura de casi todo el espacio habitado del planeta, permitan competir y sostenerse a las empresas de telecomunicación. El abaratamiento es tal que permite su uso generalizado aun en países de Nuestra América. ¡Ya hay más líneas móviles que personas!²⁹⁴

¿Cuál es la razón entonces para que esta tecnología educativa no esté en nuestras escuelas, o cómo mínimo en nuestras escuelas formadoras de maestros? Las razones son simples:

- a) Pensamos que son innecesarias, o que si son necesarias, son prohibitivas.
- b) Permitimos que comerciantes locales lucren con equipo educativo multiplicando precios en una simple operación de importación.
- c) Desaprovechamos las potencialidades del estado (supresión de aranceles de entrada, compras masivas, licitación al mejor postor, manejos de paquetes de ayudas educativas internacionales o tarifas preferenciales en el mercado).
- d) No aprovechamos la conjunción de ofertas internacionales y las potencialidades locales de hacer en la nación dispositivos y aditamentos que no estamos obligados a traer desde Bombay o Shanghái.

²⁹³ N. del A.: La famosa Ley de Moore sigue vigente. Esta ley empírica, formulada por Gordon Moore en 1965, establece que cada 18 meses se duplica el número de transistores en un circuito integrado y por tanto incrementa de forma progresiva su capacidad de operación. Cualquier cachivache hogareño tiene hoy millones de veces más capacidad que la computadora que llevaba el Apolo cuando alunizó. Como resultado de este proceso de síntesis, la tecnología reduce su precio a la mitad cada dos años. Véase artículo original en Moore, G. (1965): *Cramming more components onto integrated circuits*. Electronics, Volume 38, Number 8, April 1965

²⁹⁴ N. del A.: Según fuentes locales, en Guatemala hay más celulares que personas. En 2008, la International Telecommunications Union (ITU) registraba 14.9 millones de celulares, mientras que la población estimada, según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), era de 14.6 millones. Esto no significa, evidentemente, que cada ciudadano tenga una línea, pero si es un claro indicador de que la tecnología está al alcance de las grandes masas. Tampoco significa que los equipos sean de última generación: los populares “frijolitos”, no tienen cámara o servicio GPS incorporado, ¡pero funcionan! Reynolds, L. (viernes 31 de julio de 2009) *El país tiene más teléfonos celulares que habitantes*. El Diario. <http://www.elperiodico.com.gt/es/20090731/economia/108918>

- e) La educación privada no se ve compulsada a la adquisición de esta tecnología, que por demás, está totalmente al alcance de sus emolumentos. Nadie la tiene, nadie la exige. No hay por qué preocuparse. El mal de muchos es la ventaja de los avaros.

No hay excusas ni pretextos. Es responsabilidad de las más altas instancias educativas exigir el empleo de esta tecnología para que la educación esté a la altura de nuestros tiempos. Es responsabilidad de las más altas instancias gubernamentales favorecer el acceso a esta tecnología propiciando una adquisición no grabada y no especulativa. Tenemos que echar a los mercaderes del Templo educativo. Aquí necesitamos políticos modernos, probos y comprometidos.

7- Deben aprovecharse otras tecnologías que sin ser eminentemente educativas pueden favorecer enormemente la experimentación didáctica.

Se trata acá de aprovechar la invasión de la tecnología no necesariamente educativa, pero para fines eminentemente educativos. Un cronómetro especializado puede llegar a costar cincuenta veces lo que un simple reloj de mercado, cuyo cronómetro asociado, permite hacer exactamente lo mismo. Un multímetro sencillo permite realizar decenas, cientos de experimentos sin que ello implique la compra de un paquete de lujo. Las ampulosas celdas ópticas, con delicados y caros tubos de vacío, son parte de una historia ya extinta, dinosaurios desplazados por las celdas semiconductoras. ¿Para qué correr riesgos innecesarios con el vidrio y el mercurio de los viejos termómetros si los termistores modernos son más fiables, más baratos, más ecológicos y, por añadidura autocalibrados y factibles de brindar una señal digitalizada? Las simples básculas culinarias de hoy compiten con las balanzas analíticas de laboratorio de hace cuarenta años. Una minúscula, versátil y compacta herramienta de calibración de los tiempos para motores de combustión, empleada en los talleres de mecánica automotriz, perfectamente puede funcionar como una lámpara estroboscópica. Las cámaras fotográficas y de video, cada vez más compactas, sencillas, populares – y omnipresentes – son una herramienta invaluable en el registro de evidencia, en el análisis de cinéticas en procesos que, por su corta o larga duración, requieren de medios que faciliten su estudio. Las fuentes eléctricas de corriente directa – los llamados cargadores – empleadas para alimentar teléfonos, computadoras,

impresoras e infinidad de otros artículos son fuentes de poder sencillas e inocuas perfectamente funcionales para muchos experimentos sencillos. Revise en armarios y gavetas, y encontrará más de uno que, a la postre, se convertirá en basura electrónica contaminante. ¿Por qué no usar lo que todo el mundo tiene, sin uso ni fin, en función del más sagrado de los propósitos?

Aparte aparecen las ventajas de los ordenadores como instrumentos de medición. Los periféricos de las computadoras pueden ser fácilmente adaptados como transductores para los más variados usos. Para la mayoría de las aplicaciones educativas convencionales, la computadora puede funcionar como cronómetro, como osciloscopio, como analizador espectral... ¿Qué sentido tiene emplear los viejos contadores digitales de clic-clic cuando el conteo puede hacerse accionando una sola tecla? ¿Qué sentido tiene contar si, mediante procesamiento de imágenes, la máquina puede hacerlo por nosotros? La existencia de *softwares* cada vez más versátiles y amigables para procesar y manipular esta información abre posibilidades nunca antes vistas.

Pero hay mucho más. La propia tecnología informática ha relegado a muchos de los instrumentos que durante siglos fueron insustituibles. Hace unos años, para obtener un tono acústico se requería tener un diapasón sintonizado. Horquetas metálicas y cajas de resonancias llenaban anaqueles completos. Un diapasón para cada frecuencia requerida. Ahora, una simple computadora puede generar los tonos más puros o las mezclas más perfectas, con sólo digitalizar las frecuencias requeridas.

Y esto por no mencionar las ventajas que ofrecen las herramientas contemporáneas. Sierras, taladros y cortadoras han dejado de ser objetos de talleres especializados. La tecnología de las máquinas herramientas, manuales, portátiles y mucho más seguras que las de antaño, facilitan la elaboración de infinidad de proyectos. Otro tanto aportan los nuevos materiales, sellantes, aceleradores, adhesivos, conformables, aislantes, fraguantes, soldantes, composites; todos versátiles y asequibles. Un ejemplo: hace cincuenta años, los aislantes térmicos para los calorímetros eran hechos de lana

de vidrio, costosa y urticante, o de amianto frágil y cancerígeno. Hace cincuenta años, los experimentos electrostáticos con objetos muy ligeros requerían esferas de médula de saúco y ay de aquél que por error o ignorancia las aplastara entre los dedos. La espuma de poliestireno²⁹⁵ (poliestireno expandido) tan común y tan inescrupulosamente utilizada, permite resolver de forma segura y a costo irrisorio, todos los inconvenientes de antaño.

Con todas estas posibilidades, es oprobioso decir que no tenemos cómo hacer experimentación en nuestras escuelas y que nos vemos “obligados” a recurrir a la virtualidad. O peor aún: a renunciar a ella. ¡Cuanta razón en las palabras de Galileo!: “...mentes vulgares, tímidas y serviles...” y por añadidura perezosas e indolentes. Claro que la indolencia aplica en aquellos casos en los que el maestro sabe y puede, pero no quiere, de modo tal que aquí se vuelve al requerimiento de un profesorado instruido, creativo, motivado y comprometido.

²⁹⁵ N. del A.: De la Vida Real. **Nuestra América:** tan unida y tan diversa. El idioma une los pueblos y así mismo los diferencia. La espuma de poliestireno, recibe infinidad de nombres en Hispanoamérica, un nombre para cada país. Si va a comenzar su proyecto en un país que no sea el propio, tome nota: en Puerto Rico se llama Fon, Unicel en México, Duroport en Guatemala, Durapax en El Salvador, Propolás en Nicaragua, Estereofón en Costa Rica, Icopor en Colombia, Anime en Venezuela, Isopor en Brasil, Espuma-flex en Ecuador, Tecnopor en Perú, Plastoformo en Bolivia, Espuma plast en Uruguay, Telgopor en Argentina, Plumavit en Chile, y en España casi cualquier nombre que termine en pan: Forexpan, forespan, porespan, porexpan, poliexpan, techopan. Lo que no puede decir es que no lo pudo encontrar.

5.2 Nuevas tecnologías y experimentación.

En el epígrafe 4.4 se analizaban las distintas formas de experimentación en la escuela. La demostración de cátedra, la práctica de laboratorio, el entrenamiento, el autodescubrimiento, la investigación guiada y la enseñanza basada en proyectos fueron algunas de las aproximaciones mencionadas en cuanto al manejo de la observación y la experimentación docente. Allí se analizaron sus características, sus ventajas y desventajas en función de tiempos, recursos, objetivos, lugares, actores y espectadores. Se enfatiza, en cada uno de ellos, esa realidad inmediata que sólo confiere el sentido de la presencia, aunque lo que vean nuestros ojos ya haya sido tamizado a través de los instrumentos de observación. En otras palabras, se excluyen las experimentaciones que parten de una realidad ya aprehendida, como cuando analizamos una curva espectral, ya impresa, un video pregrabado, evidencias consumadas que no estén propensas a ser falibles. La experimentación docente debe tener la impronta de ser falible en su ejecutoria, de mostrar que al igual que en la ciencia, nada puede preverse del todo.

5.2.1 Experimentar la experimentación. El equilibrio.

Una educación fundamentalmente equilibrada debe producir “hombres completos” más que especialistas.
Juan Carlos Tedesco²⁹⁶

La planificación de cómo emplear y aprovechar estas estrategias didácticas es esencial para que el ensemble sea armónico. La planificación educativa es comúnmente apreciada como rigidez administrativa e inercia cultural, dos de los grandes lastres que exhibe la escuela en cuanto a educación se refiere. Planificación no es aquí sinónimo de inmovilidad o de llenar casillas en un modelo preestablecido.

Pero, ¿cómo hacer flexible y adaptable el resultado de un único experimento? ¿No será que debemos partir del carácter inmutable e imperecedero de la experimentación didáctica? Esta es una pregunta capciosa, pues si bien el experimento de Cavendish *siempre* será igual, en la práctica docente *nunca* resultará el mismo. Aquí interviene el

²⁹⁶ Tedesco, J. (1999): *El Nuevo Pacto Educativo*. ISBN: 84-207-6613-5. Grupo Anaya, S. A. Madrid.

propósito, la técnica, el entorno, el nivel, en suma, el enfoque curricular del acto. En resumen la intención y planificación curricular de cada experiencia.

Las líneas fundamentales que esta planificación debe seguir son:

1- La intencionalidad:

Las formas de experimentación deben ser cuidadosamente estructuradas en cuanto a su propósito, nivel, competencias a desarrollar, número de actividades, tiempos, secuencias, espacios, fortalezas y debilidades, requerimientos materiales y humanos y disciplina en la que se desarrollará. Esta planificación debe ser concertada entre los diferentes actores pedagógicos integrándola al resto del plan de estudio.

La idea detrás de esta concertación curricular no es otra que convertir la experimentación en un eje transversal de toda la educación. Hermoso sería que los profesores de idioma intentaran, como ejercicio, la descripción de un experimento, su análisis, sus puntos críticos, sus aspectos debatibles, las formas de interrelacionarlo con los temas anteriores, el cómo la historia engarza esa experiencia con la tecnología de nuestros días. Hermoso sería que el profesor de Cálculo pasara de la determinación del área de una enjuta en unidades u^2 y volviera la vista a su confirmación experimental. Hermoso sería que el profesor de Estructuras Lógicas concluyera una demostración proposicional con una demostración circuital²⁹⁷.

2- La Ejecutoria:

El desarrollo de estas diferentes formas, partiendo de una estructura, tendrá que generar puntos de ruptura cognitiva a diferentes niveles y, al mismo tiempo, dejar al docente un margen de elasticidad para que pueda, según su criterio, adaptarse a lo específico del entorno de la clase en dependencia de las características,

²⁹⁷ N. del A.: Después de todo, nuestros computadores le deben mucho a este tipo de experimentos. El Álgebra de Boole fue desarrollada en el siglo XIX con el propósito de incluir la lógica dentro del dominio del álgebra. Pero no fue hasta 1937 que comienza a vincularse con las máquinas de cómputo. Claude Shannon, quien por entonces era un simple alumno de MIT, propone representar las leyes booleanas del pensamiento mediante circuitos electrónicos y un año mas tarde publica "Un análisis simbólico de circuitos con relés y balanzas", artículo desde el cual despegla la informática computacional. A Shannon ahora se le considera "el padre de la teoría de la información".

potencialidades, número de alumno en las secciones y en los grupos de trabajo. El currículo estadounidense²⁹⁸ es enfático en este sentido:

Los maestros deben contar con los recursos y la autoridad para seleccionar los materiales más apropiados y tomar decisiones sobre cuándo, dónde, y cómo hacerlos accesibles. Tal decisión debe balancear la seguridad, el uso apropiado y la disponibilidad con la necesidad de los estudiantes para participar activamente en el diseño experimental, la selección de herramientas y la construcción de aparatos, todo lo cual es crítico para desarrollar una comprensión de la investigación.²⁹⁹

El plan curricular debe ser guía, nunca atadura.

En la experiencia desarrollada para esta Tesis, el número mágico para los grupos de trabajo para estudiantes de primer año de la universidad, tanto en prácticas como en proyectos, es tres. Sin importar los recursos ni la planificación previa, el docente tiene *in situ* la responsabilidad de generar el debate, de promover el conflicto entre los conocimientos previos con los emergentes, de vincular la experiencia con la especialidad concreta de los estudiantes presentes, de enfocar la experiencia toda, a lo social inmediato y hacia lo trascendente y epistemológico. Lo casuístico se superpone a lo normalizado, desde el estímulo o la llamada a la atención, hasta la evaluación, una vinculación que proveyendo de una experiencia colectiva, debe ser estrictamente individual.

3- Renovación continua: Sólo el análisis crítico puede generar la superación que la educación exige. Esta renovación tiene que ser asumida como ensayo y error, como una necesidad para superar lo ya hecho, pero al mismo tiempo una oportunidad para errar. No hay nada que desconsuele más a un administrador que la posibilidad de un

²⁹⁸ National Academy of Sciences, Committee on Science Education Standards. (1996) *National Science Education Standards* ISBN 0-309-05326-9. Washington.

²⁹⁹ N. del A.: Recursos y autoridad, mas no se habla de capacidad o disposición. Lo que da por sentado este precepto curricular, es que el docente podrá y querrá tomar estas decisiones a pie de cañón, decisiones que son en última instancia, la concreción de todo el esfuerzo educativo. Esto supone un profesorado instruido, creativo, motivado y comprometido. La realidad de nuestras aulas y laboratorios indica que la presunción no es obvia.

yerro. Muchos intentos de innovación terminan tras la advertencia de la administración sobre las consecuencias de un error. La escuela no puede equivocarse, luego sigamos haciendo lo mismo. Pero todo humano sensato reconoce que repetir lo mismo es la mejor receta para el mecanicismo y el ostracismo. El ostracismo y el conformismo llevan a un falso sentimiento de seguridad. Muchas instituciones pecan en este sentido endogámico de sentirse a la vanguardia, insuperables y supremas en una receta obsoleta. En la rutina se sienten seguros. Nada más alejado de la realidad. La experimentación, más que cualquier otra disciplina pedagógica, debe marcar la mutación y el cambio. Hay que experimentar siempre con la experimentación.

Ya hemos dicho que el balance adecuado, la distribución oportuna, la preparación previa de cada una de ellas, es la única salida para contar con una experimentación didáctica efectiva. Hemos dicho que hay comunidad más que rivalidad entre estas formas didácticas. Hemos dicho que ningún método debería limitar la creatividad del buen docente, pues la educación – recuérdese siempre – es ciencia en tanto arte. Justo en este sentido aparece el elemento artístico: el equilibrio. Si la búsqueda es dialéctica y analítica el derrotero es estético y artístico.

Andrei Arsenevich Tarkovski dice:

“Lo bello es el equilibrio entre las partes. Lo paradójico es que una creación de esta clase desata asociaciones cuanto más perfecta es. Lo perfecto es algo único. O está en condiciones de producir una cantidad prácticamente infinita de asociaciones, lo que al fin y al cabo es lo mismo”³⁰⁰

Nuestro currículo experimental debe ser cambiante pero equilibrado y lo equilibrado lo hará bello y funcional.

5.2.2 De las potencialidades a los cantos de sirena.

Hace sólo unos años hubiese parecido un sueño quimérico. En un pueblo minero de Teruel, en la España aragonesa, niños, maestros y padres de una escuela primaria,

³⁰⁰ Tarkovski, A. (1991): *El arte como ansia de lo ideal en Esculpiendo en el tiempo*, Editorial Rialp, Madrid.

rehacen la forma tradicional de la educación. No hay yesos ni pizarrones, no hay lápices ni cuadernos, no hay papel ni textos... al menos como hasta ahora los entendemos.

Es un proyecto de nuevas tecnologías en un colegio de Ariño que nos llega a través de la Televisión Española y que recoge un proyecto hecho en idioma inglés por estos niños para el propio Bill Gates. Muchos pudieran considerar que se trata sólo de un experimento, de algún programa piloto, pero para los chicos que han crecido en el nuevo entorno no hay nada impresionante. Cuando una de las niñas de sexto grado es cuestionada, dice:

– No hay nada del otro mundo, es lo que hacemos todos los días, pero en otro idioma.

La niña, educada en las nuevas tecnologías no entiende el motivo de tanto alboroto y revuelo. La tecnología es parte de su cotidianidad. Sin entrar en disquisiciones fuera de lugar – más históricas que etimológicas – la palabra tecnología proviene de técnica y esta del latín *technicus* que a su vez proviene del griego τεχνικός, de τέχνη, que por último significa arte, un arte en el sentido antiguo de manualidad ganada y aprendida en la práctica del oficio. Luego la ciencia se encarga de transformar esa pericia empírica y atórica en un fundamento que constituye la base de la producción industrial contemporánea.

Las tecnologías son el sino de las épocas. Son las tecnologías y sus materiales las que dan nombre a las eras. Sin ellas, el contexto se vuelve anacrónico e impersonal. Las técnicas primero, y las tecnologías después, han permitido al hombre dejar los árboles y conquistar la estepa, abandonar África para cubrir el orbe desde Etiopía hasta Kamchatka, desde Bering hasta la Patagonia, cruzar los mares y alcanzar otros astros. La tecnología se incrusta cada vez más en lo humano hasta el punto de superar los límites naturales; de morir o incluso nacer, en función de la tecnología. Sin ella, la inanición energética, la hambruna, la mortandad, la intemperie, la incomunicación, y la incapacidad de predicción, provocarían que las tasas exponenciales de crecimiento que hoy caracterizan a la especie, terminarían como singularidad única en el planeta. Vivimos y morimos *en y por* la tecnología.

La tecnología, inherente a cualquier actividad humana, incluye por supuesto, a la educación. La educación, siempre rezagada con respecto a otras manifestaciones

sociales, permaneció tranquila en sus cubiles de yeso y pizarrón durante la mayor parte de los siglos XIX y XX, salvo algunos tímidos intentos de hacer un uso más extenso de los medios audiovisuales, sólo como modestos tanteos de hacer más ostensibles aquellas normas tricentenarias que Comenius ya había mostrado en su *Orbis Sensualium Pictus*³⁰¹.

Sin embargo, hace unos sesenta años comenzó a tomar fuerza una línea de investigación educativa alrededor de la tecnología cuya estructura y desarrollo se mantiene hasta nuestros días. Esto es razonable en una época en donde lo técnico, lo científico y lo pragmático social se entrelazan y confunden. En lo comunicacional, el libro se vio seguido de la radio y el cine, luego emergió la televisión, opacadas todas ellas por la Internet, una herramienta de múltiples vías en donde, de forma desafortunada en lo educativo, muy frecuentemente se emplea una sola de ellas. La telefonía celular ya ha desplazado a la Internet como medio de socialización, aunque cada vez quede menos de la raíz *fono* del artilugio. Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) han creado nuevas formas de aprender y enseñar, de socializar, de entrar en contacto los unos con los otros, e incluso, de encontrarnos a nosotros mismos.

Como el lenguaje, el fuego, la rueda o la imprenta, las nuevas tecnologías de la información y la comunicación son el núcleo de nuestra actual revolución sociotecnológica. Unos y ceros han permitido expandir el alcance del tipógrafo llevando formatos sonoros, visuales, táctiles y hasta odoríficos hacia una realidad virtual que se entrelaza con lo onírico. Se rompen las barreras del espacio y el tiempo y conocemos mejor al antípoda que al vecino. La aldea se ha hecho orbe.

³⁰¹ N. del A.: Hablando de tecnología educativa: gracias a la Internet podemos disfrutar con lujo de detalles de un facsímil de la primera publicación en inglés del *Orbis Sensualium Pictus* de Comenius, el primer libro de texto moderno. Un solo ejemplar, millones de usuarios. Millones de usuarios y ningún riesgo de que se deteriore el singular ejemplar. Una sola joya, una humanidad para que la exhiba.

Disponible en Centro de Investigación MANES

<http://www.uned.es/manesvirtual/Historia/Comenius/OPictus/OPictusAA.htm>

Las nuevas posibilidades que la revolución tecnológica digital tiene sobre la dispersión y comunicación de información son fascinantes y la educación no queda fuera de su alcance. Son las TICs las responsables de una variedad infinita de hipertextos multimedios en donde las inteligencias múltiples y los algoritmos de enseñanza en paralelo se realizan a plenitud. Los medios que las TICs soportan son la base de una flexibilidad que ha permitido una educación abierta y a distancia en donde el tiempo, el espacio, el contenido y el ritmo de aprendizaje se adecuan al individuo. Las TICs son también – y cada vez más – sinónimo de eficiencia en el uso de recursos materiales, financieros, económicos, humanos y temporales.

El infinito espacio de las simulaciones permite adiestrar sin riesgo en el manejo de costosas herramientas y medios de alto riesgo. El pensamiento, ¡al fin!, es libre para la creatividad y la imaginación al dejar a un lado las tediosas tabulaciones y los largos cálculos. Una nueva cultura está emergiendo en donde la conectividad es la fuente de seguridad, una especie de nueva dopamina. El mundo cambia bajo el efecto de las TICs. Bienvenida sea entonces la tecnología.

Pero la tecnología también engendra temores. La tecnología que nos salva y define, también puede consumirnos. Los daños que los humanos estamos causando al ecosistema se vinculan directamente a la tecnología que nos arropa y alimenta. También segrega socialmente limitando el alcance y las potencialidades de desarrollo. La tecnología que sirve para alcanzar los planetas distantes puede separar a los humanos a un lado u otro de una simple frontera. Dice Delors:

“La revolución tecnológica que alcanza todas las esferas de la sociedad, es muy importante para comprender nuestra modernidad. Pero a la vez esta revolución puede causar rupturas entre aquellos que han sabido adaptarse y los que no – porque no pueden –. De esta forma aumenta la disparidad entre los países desarrollados y los países en desarrollo.”³⁰²

³⁰² Delors, J. (2003): *La educación encierra un tesoro*. UNESCO ISBN: 84-294-4978-7 Ed. Santillana. Madrid.

Como en todo gran giro lógico, las tecnologías nos han hecho ser lo que somos y nos pueden hacer perder aquello que somos. ¿Por qué erramos la dirección en su empleo? La respuesta no es tecnológica, sino humana. En ella se hace latente esa otra perspectiva de lo intelectual que llamamos pasiones. Las pasiones como la ira, el amor, la esperanza y el odio son aquello que realmente nos diferencia como humanos. Son la fuente de la creatividad, del cambio, de la superación de aquellas dificultades que sobrepasan nuestras posibilidades. Son innegables y necesarias, pero pueden ofuscar las percepciones. La pasión hace irracional el juicio, presentando como lógicas y evidentes la esperanza del “Dios me ama”, la esperanza del “No va a pasar nada”, la esperanza del “Este si es el remedio”.

La pasión humana puede hacer aparecer a las tecnologías engañosas como espejismos, haciéndonos ver lo que queremos ver. El mismo hombre que nos advertía sobre la precipitación y nos aconsejaba la prevención en el precepto de la evidencia o de la duda metódica «No admitir nunca algo como verdadero, si no consta con evidencia que lo es» (Descartes, *Discurso del Método*, parte II), también nos dejaba el legado de la esperanza como pasión, la esperanza definida como un disfrute prematuro en « la perspectiva de adquisición de un bien con probabilidad de alcanzarlo » (Descartes, *Les passions de l'âme*, artículo 58). El origen de esta pasión, es el sesgo humano por extrapolar, por crear figuras míticas, por hallar respuesta segura a cada pregunta. La historia muestra lecciones importantes, pero la pasión las desvanece. La pasión siempre enturbia la razón.

Varias son las formas en que la pasión humana puede llevar a la tecnología más allá de su justo desempeño. Desde los años cincuenta del siglo pasado hemos estado pensando que la radio, la televisión, los retroproyectors, las computadoras, las animaciones, los programas ofimáticos serán *la* solución para el problema educativo. La pasión por lo tecnológico también aparece como fundamento y estructura misma del currículo. Estas tendencias tecnocráticas se sustentan, por ejemplo, en el Curriculum Prescriptivo de Franklin Bobbit. En su libro *The Curriculum*, Bobbitt³⁰³ proponía un modelo funcional de la escuela como empresa industrial. El sistema

³⁰³ Bobbitt, F. (2007): *The Curriculum*, Kessinger Publishing. New York.

educativo debía funcionar según las normas de la eficiencia administrativas de Taylor y Ford. El sistema educativo debería ser capaz de especificar qué resultados pretendía obtener, estableciendo métodos para medirlos de forma fiable y segura. Buena parte del siglo XX estuvo marcada por esta tendencia tecnocrática educativa sustentada por curriculistas de enorme impacto como B. Bloom, W. Pophan, E. Baker y R. Tyler. La esencia es seguir un algoritmo lógico en donde Especificación de Objetivos, Evaluación Previa, Enseñanza y Evaluación de Resultados se repiten una y otra vez. Los sesgos y mecanicismos de estas tendencias dieron como resultados una tendencia curricular que debería abordar la educación siguiendo un enfoque eminentemente técnico de organización y desarrollo, esto es, sin cuestionar el orden educativo existente, ni las formas dominantes de conocimiento. González et al lo sintetizan de esta forma:

“Una concepción curricular que se caracteriza por una posición reduccionista del curriculum y de la función de la escuela donde sólo existe lo planificado y lo previsto y la tarea del profesor es fundamentalmente lograr los objetivos propuestos sin cuestionarse su valor.”³⁰⁴

La tecnología tiene otras caras oscuras, otras facetas contra la que debe en principio advertirse. Tras la tecnología puede aparecer un sesgo determinista que la sitúa como metarrelato cultural, como fundamento de un destino manifiesto que opera desde hace mucho tiempo en el idioma de los gobiernos, la religión³⁰⁵ y el pueblo:

³⁰⁴ González, M. et al (2003): *Currículo y formación profesional*. ISBN 959-261-106-8 Ed. ISPJAE. La Habana

³⁰⁵ N. del A.: De acuerdo con Douglas McKnight y Cecil Robinson esta narrativa basada en la tecnología ha sido la fuente y la esperanza del predominio espiritual, económico, moral y militar de Estados Unidos de América desde sus mismos orígenes. Los autores rastrean esta tendencia hegemónica hasta la *Technometry* de Ames.

William Ames desarrolla en el siglo XVII un currículo alrededor de la tecnología al que denomina *Tecnometría* (véase el *Circle of Knowledge in the Ames's Technometry*), un plan educativo que sirve de fuente al posterior desarrollo educativo en América. Para los puritanos de Nueva Inglaterra la tecnología conformaba parte de un plan divino, no un objeto, sino un principio organizativo que operaría todo aspecto de la vida espiritual, académica, económica y social de la vida cotidiana.

McKnight, D.; Robinson, C. (2006): *From technologia to technism: A critique on technology's place in education*. THEN: Technology, Humanities, Education, & Narrative. Issue No. 3, 2006.

Nosotros cultivamos cacao y caña de azúcar, los suizos hacen el chocolate. La tecnología en este sentido aparece como neutra, apolítica y universal y por tanto, inmune a la crítica o revisión. Tras la tecnología también aparecen las fobias, las remembranzas del riesgo a imitar a Dios, de una tecnología por encima del humano, del Homúnculo que como el Golem,³⁰⁶ viniendo a salvar a la humanidad, termina destruyéndola.

³⁰⁶ N. del A.: “El Golem” (1914), de Henrik Galeen y Paul Wegener. Cine clásico alemán.

5.2.3 Tecnología educativa: necesaria, mas no suficiente.

Cambia el mundo, pero no cambian las aulas.
Robert J. Hawkins

“Si se compara al mundo de hoy con el de hace un siglo, se encuentran increíbles avances en los campos de la ciencia, el comercio, la salud y el transporte, entre muchos otros. Pero si se compara el aula de clase de hace un siglo con la de hoy, se ven claras similitudes: los estudiantes sentados en filas, con papel y lápiz en mano; el profesor en el tablero escribiendo los datos importantes; esos mismos estudiantes copiando en sus cuadernos con afán lo que el docente dice, esperando memorizarlo para poder repetirlo en un examen.”³⁰⁷

Hawkins tiene razón. Paradójicamente, la educación es el entorno socioeconómico más reticente. Hemos pasado por la radio, la TV, los retroproyectors, las videocaseteras y lo que aun sigue siendo el factor común de nuestras aulas – y el punto de retorno tras los múltiples intentos fallidos – son los decimonónicos yeso y pizarrón. Hay una deformación de la tesis constructivista bajo cuya visión al estudiante hay que darle materiales y dejarlo que espontáneamente labre su propio camino. El paradigma que acompaña esta tendencia curricular es el siguiente: suminístrese tecnología y los problemas se resolverán *ipso facto*. Debería convertirse en una proposición de estudio para los cursos de Lógica Formal como ejemplo de *Falacia típica de la Afirmación del Consecuente*:

Si p , entonces q

q

Por lo tanto, p

Este desacierto está muy ampliamente difundido en el ámbito educativo, más bien debería decirse pseudoeducativo. Obviamente resultaría absurdo atribuir la culpa sólo a los curriculistas, en general personas altamente capacitadas, experimentadas y bien

³⁰⁷ Hawkins, R. (2002): *Ten Lessons for ICT and Education in the Developing World*. In *The Global Information Technology Report 2001-2002: Readiness for the Networked World*. Harvard University. ISBN: 9780195152586 Editor: Kirkman, G., Oxford University Press, New York.

intencionadas. El fenómeno se percibe como ruido, como perturbación que desdobra y en definitiva trastoca la intencionalidad del mensaje original. El currículo, con muy buenas intenciones, se malinterpreta y manipula hasta convertir el antídoto en algo tóxico. Veamos un ejemplo de quiebre de estas buenas intencionalidades. Los Estándares Norteamericanos de 1996 proclaman:

“La efectividad en la enseñanza de la ciencia depende de la disponibilidad y organización de los materiales, equipos, medios y tecnología.”³⁰⁸

No pudiera ser de otra forma. Pero la hipérbole no tarda mucho en llegar. El caso de la High School de Liverpool³⁰⁹, Nueva York, es digno de estudio. Como muchas otras escuelas de Norteamérica, comenzó hace unos años un programa en el que cada estudiante contaba con su propio computador personal, un programa del que se retiraron ahora al encontrarlo “educacionalmente vacío y agravante”. Mark Lawson, presidente del Consejo Escolar, manifiesta que “después de siete años, literalmente no ha habido evidencia alguna – ninguna – de que hayan tenido algún impacto en el rendimiento estudiantil”.

¿Para qué han usado los estudiantes sus *laptops* escolares? Para intercambiar respuestas en sus exámenes, bajar pornografía y *hackear* las empresas locales. Cuando la escuela reforzó la seguridad de su red, un alumno de 10^{mo} grado no sólo encontró la forma de violarla, sino que también publicó en la web instrucciones, paso a paso, para que otros lo siguieran. Y así lo hicieron... Otros muchos problemas logísticos fueron apareciendo detrás de la buena intención: los sistemas colapsaban incapaces de soportar a tantos usuarios en línea, los costos de mantenimientos y soporte de las *laptops* se hicieron enormes dada la gratuidad y el uso abusivo y no adecuado. Como consecuencia combinada de la resistencia de los profesores, los problemas materiales, técnicos y administrativos, y la escalada en los costos de mantenimiento, los distritos retiraron los programas de los ordenadores portátiles.

³⁰⁸ National Academy of Sciences, Committee on Science Education Standards. (1996) *National Science Education Standards* ISBN 0-309-05326-9. Washington.

³⁰⁹ Hu, W. (2007): *Seeing No Progress, Some Schools Drop Laptops*. The New York Times. Published: May 4, 2007

¿Generación de depravados, fin de los tiempos, concreción del eje del mal... o incapacidad de los docentes y el sistema todo para hacer un uso planificado, racional y adecuado de la nueva tecnología? Pobre de aquel que juzgue a los jóvenes. Una vez más la responsabilidad es toda del sistema. Si los maestros no logran entender cómo utilizar la tecnología en el aula, si los administradores no están listos para el desafío, no es de extrañar que la tecnología no logre el impacto esperado. La culpa no es atribuible a ningún artefacto. Lo que hoy se dice de las computadoras pudo haberse dicho hace cuatro siglos del libro. Alex Reid, en *Digital Cave*, formula una excelente parodia:

“¿Por qué debo usar libros en mi clase? Sin los libros, las conferencias funcionan mucho mejor.

Dentro de las cubiertas de sus libros, los estudiantes ocultan revistas. Miran en las páginas que no son. Copian el texto del libro y plagian. No pueden hacer nada de eso cuando estoy dictando una conferencia. El libro es sólo una caja que se interpone en la relación individual con mis alumnos.”³¹⁰

Una vez más, como niños³¹¹, recurrimos a la función primigenia del pensamiento: el autoengaño. Una vez más, como niños, sufrimos las trampas del pensamiento emocional y personificamos los objetos haciéndolos responsables de nuestros descabros. La culpa la tiene la mesa: mesa mala, mala... La culpa la tiene la

³¹⁰ Reid, A. (2007): *NY Times Reports: Schools Show No Progress* Digital Digs. http://alexreid.typepad.com/digital_digs/2007/05/ny_times_report.html

³¹¹ N. del A.: Piaget, desde su *Psicología Genética*, nos recuerda una vez más que siempre volvemos a ser niños.

“Todo lo que sabemos actualmente de la psicología del niño parece demostrar que el pensamiento infantil no se vuelca espontáneamente a la objetividad general ni tampoco a la veracidad. En efecto, la función primitiva del pensamiento es asegurar la satisfacción de los deseos, más que adaptar el yo a la realidad objetiva”

Piaget, J. (1999): *De la Pedagogía*. ISBN: 950-12-2142 -3 Editorial Paidós. Buenos Aires.

computadora: computadora mala, mala “¡Dios mío!, ¡qué infantiles pueden volverse las personas!”³¹²

Hay varios errores de fondo en esta experiencia que pueden servir de moraleja en todos los intentos que pretendan modernizar la educación mediante la tecnología:

- 1- No basta con suministrar e instruir³¹³ en el uso de la nueva tecnología: el currículo debe adecuarse todo a ella.
- 2- La escuela tiene que abordar este problema por una simple razón: estos jóvenes interactúan y aprenden – y lo harán mientras vivan – en esta tecnología a cuya utilización la escuela esta renunciando. La opción del avestruz enterrando la cabeza no es valida para el sistema educativo: la escuela no puede retirarse bajo la excusa de que “no ha podido hallar cómo resolver el problema”. Acá si valdría la pena un remedo de eslogan populista, pero que encierra la única opción del género humano: Educación o Muerte.
- 3- Es preciso hallar la forma de reinventar la educación bajo estas nuevas premisas. Es difícil predecir cuál será la salida, pero muy fácil asegurar que sea cual fuere, tendrá que pasar por la figura del maestro instruido, capacitado y motivado. Más que añadir nueva tecnología de la información y de la comunicación al proceso educativo, es necesario adoptar y adaptar esa

³¹² La cita es de Anthony de Mello en su libro *Medicina del Alma para la superación personal*.
De Mello, A. (2001): *Medicina del Alma para la superación personal*. ISBN: 9507248145
Editorial: Lumen. Buenos Aires.

³¹³ N. del A.: Según el Mineduc de Guatemala, bajo el programa *Abriendo Futuro* de 2007, 53 000 maestros adquirieron computadoras personales y se conectaron en red con sus alumnos a la hora de clases.

De ellos 4 571 participaron en talleres y seminarios. Claudia Toledo, gerente regional del Programa para la Educación de Microsoft de Centroamérica y el Caribe, expresaba: “Ahora, un niño de una aldea puede hablar de tú a tú con uno de la capital que estudie en un colegio privado”

Necesario y loable esfuerzo, pero a la luz de la experiencia, Toledo vuelve a los cantos de sirena. Tan importante como la facilitación de la tecnología y el adiestramiento mínimo, debe ser la adecuación de la intervención educativa a la nueva tecnología, el seguimiento, la medición y control sobre cuál ha sido el efecto real de estos programas en la enseñanza. Sin ello, el esfuerzo no irá más allá del influjo perecedero por un juguete nuevo. ¿Se ha hecho?

Mineduc Programa *Abriendo Futuro* <http://www.mineduc.gob.gt/abriendofuturo/index.php>

González, P. (martes 09 de octubre de 2007): *Extranjeros elogian labor del Mineduc en Guatemala*. El Periódico. <http://www.elperiodico.com.gt/es/20071009/actualidad/44454/>

tecnología pero con fines eminentemente educativos. Prensky³¹⁴ lo plantea claramente: Adoptar y Adaptar: no se trata de hacer lo de siempre con nueva tecnología, sino repensar lo que siempre hemos hecho a la luz de las nuevas posibilidades. Nosotros sugerimos, a la luz de nuestras vivencias³¹⁵ añadir un **optar**.

Pekka Himanen, refiriéndose al uso de la Internet como medio educativo, señala al respecto:

³¹⁴ Prensky, M. (2005): *Adopt and Adapt*. 21st-Century Schools Need 21st-Century

³¹⁵ N. del A.: De la Vida Real. Erick Mazur es Titular de la Cátedra Balkansky de Física y Física Aplicada de la Universidad de Harvard. Autor de libros como “Peer instruction: A user manual” y de decenas de artículos sobre docencia contemporánea dictaba la conferencia “*The Interactive Learning Toolkit: Technology in the Classroom*” en donde mostraba una forma rápida y moderna de interactuar con un auditorio de más de cien personas. Uno de los puntos más atractivos se vinculaba con el uso de una *Turnig Point Response Card*. Detrás del nombre se esconde una simple tarjeta que funciona como un *cliker*, como un control remoto de televisión. Cada estudiante dispone de uno y con él responde a las preguntas que se formulan. Las preguntas, de opción múltiple, están dirigidas a:

- a) evaluar las concepciones previas del auditorio.
- b) suministrar retroalimentación instantánea al profesor sobre si puede continuar o detenerse alrededor del punto en cuestión. (Criterio 30%, 70%)
- c) promover el debate entre pares dentro del propio auditorio.
- c) evaluar la evolución del aprendizaje después de la discusión entre miembros del colectivo con diferente opinión sobre la respuesta.

La conferencia y la demostración de la tecnología educativa fue seguida con real y genuino entusiasmo por una audiencia formada por profesores y alumnos de la Universidad del Valle de Guatemala. Las preguntas fueron formuladas – estoy convencido – con la mejor de las buenas intenciones. Un historiador se preguntaba cómo poder aplicar esta tecnología a la Historia si allí las respuestas no son categóricas, si nunca puede haber un verdadero o falso a menos de que se pregunten las trivialidades cronológicas o fácticas. Otro docente preguntaba como poder aplicar esta tecnología a un curso de Diseño de Instalaciones Industriales de último año de Ingeniería Química. El punto sobre el que quisiera llamar la atención con el mayor de los respetos, es que nuestro profesorado, aun el de primerísima línea, no comprende que:

- 1- En la ciencia tampoco hay respuestas categóricas verdadero/falso, como aclaraba desde concepciones epistemológicas más avanzadas el propio Mazur en la misma conferencia.
- 2- No toda tecnología es de obligatoria utilización en cada asignatura, en cada clase y en cada tema. Es preciso elegir, es preciso **optar**.
- 3- Es preciso optar, adoptar y adaptar aquella tecnología que confiera valor comunicacional a nuestra experiencia educativa. El problema es que ello implica salirse de los cánones de la enseñanza tal y como la hemos desarrollado durante toda nuestra vida. Es preciso romper esquemas mentales.

Bravo a la UVG por permitirnos disfrutar de entornos educativos de tan altos vuelos.

Mazur, E. (2010): *Interactive Learning Toolkit: Technology in the Classroom*. Universidad del Valle de Guatemala. 30 de enero de 2010. <http://mazur-www.harvard.edu>

“La ironía ha querido que actualmente la academia tienda a modelar su estructura de aprendizaje tomando como base el modelo monástico del emisor-receptor. Ironía que, por lo demás, no hace sino amplificarse cuando la academia empieza a construir una «universidad virtual» y el resultado es una escuela monástica informatizada”³¹⁶

Desafortunadamente, un enorme porcentaje de la capacidad de las TICs en educación está dirigida a comunicar información, generalmente escrita, sin que los emisores se vean comprometidos por explotar las nuevas potencialidades de estos recursos. Los sistemas y estructuras de transmisión lineal de información, la concepción del estudiante como tabula rasa, el papel informante del docente-dicente versus el papel de escucha-silente-inactivo del alumno, son ahora puestos en formato digitalizado. En “Tendencias actuales de la Investigación en Docencia Universitaria” Gros Salvat se refiere a este asunto de la siguiente forma:

“Estas “escuelas monásticas informatizadas” toman como base modelos de enseñanza tradicional en que lo importante es transmitir información, documentos, bibliografía, etc. El efecto producido es el de la “navegación por los apuntes”. Es decir, los estudiantes acceden a los apuntes de sus profesores a través de la red sin que haya mayor mediación o valor “añadido” en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se trata de utilizar la tecnología para “hacer lo mismo”.”³¹⁷

Hoy es con las computadoras portátiles, mañana con los *ipods*, pasado mañana con el futuro dispositivo intrabucal aún no inventado, cualquiera que sea su futuro nombre. La incoherencia es esta: el sistema educativo está consciente que debe abordar los cambios que los medios tecnológicos imponen, pero no propone nuevas formas de concebir la educación. Llegan más computadoras, más periféricos, más sensores, más dispositivos inalámbricos, pero seguimos haciendo, en esencia,

³¹⁶ Himanen, P. et al (2002). *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información*. ISBN 8423333906. Editorial Destino. Madrid.

³¹⁷ Gros Salvat, B. (2007): *Tendencias actuales de la investigación en docencia universitaria*. Edusfarm, revista d'educación superior en Farmàcia. Núm. 1, 2007.

exactamente lo mismo. *Eadem sed aliter*, diría Quintiliano. El mismo perro con otro collar, diría un buen caribeño.

5.2.4 Hombre vs TIC. La diferencia que radica en el sustrato.

Hay un riesgo latente no abordado aún de la tecnología educativa y que se vincula con la posible competencia entre humanos y máquinas que ha caracterizado la modernidad. ¿Puede la tecnología superar al humano, puede sustituirlo? ¿Hará el *e-learning* innecesario al maestro?

Dino Salinas³¹⁸ no es sólo un fino caricaturista, es un muy destacado curriculista que emplea el humor como herramienta crítica. Una viñeta de Dino plantea dos estadios del desarrollo tecnológico en el marco educativo: en el primero un profesor que reconoce que la enseñanza asistida por ordenador está muy bien, pero jamás sustituirá a la figura del profesor, en la segunda un monje medieval que reconoce como eficaz a la imprenta... pero también que jamás podrá sustituir la figura del copista.



Fig. 9: Viñeta de Dino Salinas Fernández

¿Será realmente que podemos prescindir del profesor de la misma forma que prescindimos del copista? Como educadores debemos ser fervientes admiradores y propulsores de cada nueva TICs: desde lo visual interactivo hasta la mensajería telefónica. Pero igualmente debemos tratar siempre de enfatizar – y advertir – que

³¹⁸ N. del A.: Dino Salinas Fernández es profesor del Departamento de Didáctica y Organización Escolar de la Universitat de Valencia, autor de decenas de artículos educativos en el área curricular en el transcurso de los últimos veinte años. La viñeta forma parte de un material del Diplomado CTS de la Universidad de Oviedo, España.

lo más importante es el mensaje, su efecto y su retorno, no el medio. Las TICs son sólo eso: herramientas. Herramientas que ningún determinismo tecnológico podrá equiparar al necesario acto social de aprender y enseñar en comunidad. Extrapolar su alcance sería negar el romance y la utopía, la risa y la mirada reprobatoria. Extrapolar su alcance sería pensar que el vestido es más importante que la novia. Lo que pasa por alto la viñeta de Salinas es la naturaleza humana del aprendizaje: lo importante no es si se registra con el estilo que marca la tablilla de barro o con los ceros y unos que pueblan los servidores del ciberespacio. La verdadera diferencia está en el sustrato final de lo registrado. La verdadera diferencia estriba en que ninguna imprenta, ninguna computadora puede suplir a la más compleja forma de materia conocida: el cerebro humano en su desarrollo social.

Resumiendo estos últimos epígrafes: Estas advertencias sobre lo tecnológico tienen todas en común un gran sesgo determinista, pero la historia indica que la tecnología no puede, por sí sola, ser la solución a nuestros problemas educativos.³¹⁹ La tecnología, por sí misma, solo brinda opciones y oportunidades. Es siempre prudente advertir contra tales aberraciones. Las nuevas tecnologías educativas, sin importar su naturaleza, tienen potencialidades y límites que empiezan y terminan en la criatura más importante del planeta: el ser humano. Más que de la presencia de la nueva tecnología, más que de su disponibilidad, ofrecimiento y otorgamiento, sus resultados siempre serán matizados por el factor humano y su entorno social. Factor humano y entorno social que comienzan con un profesorado instruido, creativo, motivado y comprometido.

³¹⁹ N. del A.: Cabero habla de la desilusión tras las grandes expectativas de finales de siglo y señala:

“Uno de estos errores es el denominado tecnocentrismo, es decir, situar la tecnología por encima de la pedagogía y la didáctica, olvidando que su incorporación no es un problema tecnológico, sino que es, independientemente del económico, de carácter cultural, social y formativo”

Cabero, J. (2006): *Bases pedagógicas del e-learning*. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento Vol. 3 - N.º 1 / Abril de 2006 ISSN 1698-580X

5.2.5 Nuevos tiempos, nueva gente.

Discar es un verbo aún reconocido por la RAE en el sentido de hacer girar aquel disco telefónico interruptor para establecer una comunicación, un disco que resulta totalmente anacrónico y carente de sentido para todos nuestros jóvenes digitales que nunca lo usaron, que verían como castigo el lento retroceso del círculo horadado. Ninguna época previa nos ha preparado para tal cambio cultural – lo tecnológico que se hace cultural – entre dos generaciones contiguas.

Hecha la advertencia contra la ilusión desmedida o perturbada en lo tecnológico, otra debe ser hecha contra el tradicionalismo conservador: es absurdo enseñar sin y fuera de la nueva tecnología. Esta imposibilidad no descansa sólo en lo social antropológico sino en lo cognitivo y lo comunicacional: educamos a nativos digitales.

Un extranjero puede que viva décadas en el país incorporando sus costumbres y regionalismos, puede que conozca mejor que los locales la historia y la geografía, pero basta con que abra la boca para que le señalen:

–Y usted, ¿de dónde es?

Es imposible para él hablar como los nacidos en esa tierra. Prensky emplea esta singularidad al contrastar la generación nacida *en* la tecnología de aquella que la usa, de aquella que la ha creado. Prensky ha acuñado los términos "nativos digitales" e "inmigrantes digitales", inicialmente esbozados en su artículo de 2001. Un nativo digital es una persona nacida y crecida dentro de las tecnologías digitales como las computadoras, la Internet, los teléfonos celulares, etc. Un "inmigrante digital" es un foráneo de este nuevo idioma. Es posible que use la nueva tecnología, incluso con pericia, pero siempre tendrá algún "acento", algún deje de su historia de lápiz y papel, de textos en papel impreso. La inmensa mayoría de los directores, académicos, curriculistas y maestros con voz protagónica hoy día, son inmigrantes digitales.

Prensky señala,

“Me sorprende cómo en toda la conmoción y debate de estos días acerca de la decadencia de la educación en los EE.UU., ignoremos la

más fundamental de sus causas. *Nuestros estudiantes han cambiado radicalmente. Los estudiantes de hoy ya no son las personas para las cuales nuestro sistema educativo fue diseñado.* Los estudiantes de hoy no han cambiado *gradualmente* como los del pasado, no cambiaron simplemente su argot, ropa, adornos corporales, o estilos, como ha ocurrido entre las generaciones anteriores. Una discontinuidad realmente grande ha tenido lugar. Incluso se podría llamar una "singularidad", un evento que cambia las cosas de manera tan fundamental que no hay absolutamente ninguna vuelta atrás. Esta llamada "singularidad" es la llegada y rápida diseminación de la tecnología digital en las últimas décadas del siglo XX”³²⁰

Según Prensky “el mayor problema que enfrenta la educación hoy es que nuestros instructores inmigrantes digitales... están luchando para enseñar a una población que habla un nuevo idioma”.

La tecnología ha modificado la forma de recibir, codificar y entender. Según algunos, se han modificado las habituales estructuras de pensamiento. Los nativos digitales trabajan en paralelo y multi-tareas³²¹, prefieren lo gráfico a lo escrito, el hipertexto y su multimedia antes que el libro. Reciben y procesan información muy

³²⁰ N. del A.: Marc Prensky, destacado educador y curilista norteamericano de enfoque constructivista-humanista, ha trabajado durante décadas en temas asociados con la reforma educativa preuniversitaria, intentando crear nuevas formas de abordaje pedagógico cuando se intenta enseñar a jóvenes del nuevo milenio. Su trabajo más difundido es el que se cita a continuación.

Prensky, M. (2001): *Digital Natives, Digital Immigrants*. On the Horizon. MCB University Press, Vol. 9 No. 5, October 2001

³²¹ N. del A.: No todo es gloria con estas estructuras paralelas. Los cambios frecuentes en los puntos focales de atención pueden traer aparejados desordenes de motivación aún no suficientemente estudiados. Ravitch opina:

Pienso que lo que la tecnología está haciendo, adicionalmente a proveer un maravilloso acceso a recursos, es introducir un nivel de distracción que hace muy difícil que los estudiantes o cualquier otro pueda concentrarse.

Diane Ravitch es profesora de Educación de la New York University. Fue asistente del Secretario de Educación Lamar Alexander. La cita proviene de Alexander L. (2009): *The Reinvention of Higher Education*. Newsweek. October 26, 2009.

rápidamente, pero de forma concisa; requieren la gratificación instantánea y la palabra seriedad es mal entendida en un contexto de eterno juego.

Pero esta descripción es contrapuesta a la propia imagen de la enseñanza tradicional que ya hemos señalado en otros acápites de esta Tesis: lineal, lenta, reiterativa, paso a paso, una cosa a la vez, con énfasis en lo individual, y sobre todo, formal y autoritaria. La base de la autoridad natural es el dominio en el ejercicio, una autoridad que se pone en tela de juicio cuando el aprendiz es más hábil que el maestro, cuando el pupilo se cuestiona el sentido mismo del aprendizaje. En Nuestra América las crisis se solapan: a la crisis social de la familia y el estado se suma la crisis informática: la nueva generación se convierte en nativos digitales, o sigue por fuerza mayor siendo inmigrante digital. Ambas opciones son traumáticas en lo educativo consuetudinario³²². Forzar a un joven digital a ser educado bajo el dogma de la escuela tradicional es tan traumático como cerrarle a un neófito las potencialidades de las nuevas tecnologías.

Para el maestro el camino es ineluctable. Tendrá que vivir para mantener un nivel aceptable de dominio sobre las nuevas tecnologías y para adaptar su discurso y su praxis a la impronta que esa tecnología deje en sus discípulos hábiles pero inexpertos. Aparece aquí un dilema de acción irresponsable: los jóvenes saben hacer pero no saben calcular las consecuencias de lo que hacen. Como dicta la sabiduría secular, el maestro deberá evitar los extremos: no intentará readaptar su estrategia ante cada nuevo medio o espacio, porque los flujos y reflujos son en ocasiones

³²² N. del A.: Entender los cambios que están ocurriendo en Nuestra América es consustancial con cualquier intento por desarrollar una nueva escuela. La sociedad tradicional latinoamericana se fragmenta porque se rompe aquel vínculo generacional que caracterizó a las sociedades de cultura oral, aquellas en las que se veneraba a los viejos como portadores de la sabiduría ancestral y alrededor de los cuales giraba la educación de los jóvenes y la toma de decisiones. La sociedad toda se aglutinaba alrededor del tata, del patriarca o caudillo. Históricamente, en Nuestra América hemos seguido más a figuras paternas (o paternalistas) que a ideas generadoras. La brecha tecnológica intergeneracional viene a agravar esta ruptura. Por primera vez en la historia, los jóvenes pueden ser más hábiles que los viejos, los nietos enseñan a los abuelos, los niños a los niños. Cuando esta enseñanza intrageneracional no es correctamente enfocada, surgen perturbaciones espantosas como las maras centroamericanas.

Salvando las distancias – y los orígenes sociales del fenómeno –, mucho recuerda esta autoeducación disgregada de raíces a la novela distópica de Willian Golding “El Señor de las Moscas”.

Golding, W. (1984): *El Señor de las Moscas*. Alianza Editorial, S.A. Madrid. 1984

modas de paso, ni tratará de tapan el sol con un dedo intentando negar el rol de las nuevas tecnologías. Habrá ocasiones en que tenga que recurrir a actos de fe, situaciones cuya lógica inversa es muy difícilmente aceptables para un “inmigrante”. Si la neurociencia ha enseñado que el cerebro procesa una sola tarea consciente a la vez, es contraproducente para un no nativo, por liberal que se proclame, entender que un joven haga sus deberes de matemática mientras mira la tele y escucha simultáneamente su *i-phone*³²³.

Sobre el maestro recae toda la responsabilidad por tender puentes, por aceptar la incompetencia generacional al mismo tiempo que se dispone para superarla, por amalgamar la experiencia y el saber tradicional a las exigencias de los nuevos tiempos. Ese es un camino difícil, arduo y de por vida.

³²³ N. del A.: El rito de paso entre la infancia y la adolescencia fue, durante siglos, la adopción de los corpiños o los pantalones largos, según fuera el género. Nuestros jóvenes digitales emplearon primero los teléfonos móviles y ahora los *iPhones*. El autor confiesa sin pena que no los sabe utilizar. Se escuda en la torpeza de sus dedos y su ascendencia campesina. Puras justificaciones.

El *iPhone* es peor que los celulares en el ambiente del aula tradicional. Un simple experimento de Apple y la sagacidad de Tony Fadell han hecho que música, video, cámara, conectividad *wi-fi*, interface táctil y sistema operativo similar al de una *Mac* quepan dentro de una caja de fósforos.

Cañonazo directo a la línea de flotación de un viejo barco con balas de yeso y velas de pizarra, un viejo barco que ya hacía agua...

Aquí comienzan los grandes dilemas para los que no estamos preparados.

- Lo empleo sólo para relajarme profesor, es a Debussy y a Liszt a quienes escucho, es sólo arte, música de fondo para comprender mejor el mensaje de su excelente clase...

¿Limitamos libertades individuales? ¿Coartamos a una nueva generación? ¿Tendrá sentido tal sujeción a reglas? ¿Ya olvidaste cuando tenías veinte años?

Lo que para el autor resulta muy claro es que, cuando se está demostrando la homogeneidad matemática de los campos magnéticos en la región central de unas bobinas de Helmholtz y una jovencita esboza una sonrisa de oreja a oreja mientras mueve la cabeza como Stevie Wonder, no lo dude, oculto entre sus adminículos está el aparatito y un video de Good Life Party con Kanye West en los MTV Video Awards.

5.3 La nueva tecnología para la experimentación. Los Laboratorios basados en microcomputadoras.

De acuerdo con el Center For Science and Mathematics Teaching³²⁴ (CSMT), uno de los problemas más acuciantes de la actualidad educativa estriba en mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias bajo la presión de un mundo cada vez más tecnológico. Sobre este tópico ya abordado en el epígrafe 5.1 volvemos ahora a la luz del efecto que las computadoras han tenido en el plano educativo. La introducción de las computadoras y sus herramientas específicas ha permitido a profesores y estudiantes reestructurar la forma clásica de la experimentación.

Los Laboratorios Basados en Microcomputadoras (MBL por sus siglas en inglés) son entornos educativos equipados con moderna tecnología que permiten a los estudiantes experimentar y aprender la ciencia a través de dispositivos fáciles de usar, que ejecutan y procesan mediciones en tiempo real. El proceso de enseñanza aprendizaje en estos entornos, cuando se le compara con los desarrollados en los laboratorios tradicionales, exhibe las siguientes potencialidades:

1- **Ser más eficiente.** Literalmente se elimina todo el esfuerzo por anotar, recopilar y procesar la información que antes constituía la mayor parte de la experiencia. Lo que anteriormente requería dos horas, puede hacerse ahora en diez segundos. La mayor holgura en el tiempo puede aprovecharse entonces para reenfocar el sentido de la experiencia. También se consigue un mejor uso de las instalaciones, el personal y el tiempo del estudiante.

³²⁴ N. del A.: The *Center for Science and Mathematics Teaching* (Centro para la Enseñanza de la Ciencia y la Matemática) es una institución vinculada con la Tufts University, Boston, Massachusetts.

Desde 1986 ha abordado con éxito un problema que se ha convertido en una prioridad nacional: mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia en las escuelas y universidades del país. El Centro, dirigido por Ronald Thornton, desarrolla planes de estudio, actividades y herramientas computacionales que permiten a los estudiantes participar activamente en su propio aprendizaje del conocimiento científico. Usando estos materiales los estudiantes aprenden directamente del mundo físico. <http://ase.tufts.edu/csmt/html/about.html>

2- **Ser más efectivo.** El uso de la nueva tecnología puede tornar la experiencia más rigurosa, integral y analítica con respecto al método tradicional. Literalmente se eliminan los errores de procedimiento numérico al mismo tiempo que el tratamiento se hace interdisciplinario. La matemática, la informática y la física confluyen de forma casi natural a través de la pantalla periférica. El mejor aprovechamiento del tiempo permite crear más espacios para la búsqueda, el análisis y la síntesis.

3- **Ser más moderno.** La industria y la investigación científica contemporánea hacen un uso continuo de la electrónica y la óptica, de la modelación matemática, las herramientas estadísticas y de graficación mediante paquetes de software especializados. Es contraproducente en nuestros tiempos, enseñar a los hombres del mañana con las herramientas de los abuelos³²⁵.

La invención del microprocesador por Ted Hoff en 1968, es el punto de partida de esta tecnología. Los microprocesadores son dispositivos digitales que manipulan generalmente información binaria. Su versatilidad, rapidez y confiabilidad son excelentes, pero las señales eléctricas que portan la información del sistema físico bajo estudio son analógicas. Como no todo parámetro de interés experimental es eléctrico, los MBL requieren primero un conversor, un transductor del estímulo, cualquiera que sea su naturaleza, a eléctrico. Los estímulos, convenientemente interpretados tendrán que ser procesados y presentados antes de ser sometidos a una toma de decisión.

De aquí se infiere que los entornos experimentales modernos no se satisfacen con sólo un simple ordenador. Este es un error que la administración educativa debe tener muy en cuenta. A pesar del nombre genérico, la computadora es sólo *uno* de los elementos de un complejo sistema material que la escuela requiere para una experimentación contemporánea. A estos administradores va dirigido el resto de

³²⁵ N. del A.: Esto no significa que desdeñemos el acervo centenario. Si bien la antigua tecnología está totalmente desplazada, sigue teniendo un fuerte interés didáctico por cuanto muestra la historia evolutiva. Así, un microproyecto experimental puede comenzar con la construcción de una balanza de dos platillos, seguir con una romana, pasar por un dinamómetro de resorte y terminar con un dispositivo electrónico moderno bien sea piezoeléctrico o resistométrico. Tres mil años de historia se concretan en como medir masas con ayuda de nuestra gravedad. La respuesta de los estudiantes es excelente: no se les fuerza a una tecnología obsoleta sino que se les presenta como dilema histórico inconcluso.

este epígrafe. En la literatura especializada sobre los modernos sistemas de captura, procesamiento y control, los enfoques generalmente se presentan desde una perspectiva eminentemente técnica, en cuyo caso el mensaje se hace incomprensible para los legos, entiéndase administradores y financistas de la educación. Pero son éstos los que toman las decisiones curriculares. Es preciso divulgar entonces, so pena de aburrir a los especialistas. Antes de detallar el sistema MBL, hay que volver a recordar, una vez más, que en la educación de la ciencia ni las panaceas ni los milagros existen. Los MBL son sistemas que sólo facilitan las cosas haciéndolas más rápidas, operativas y contrastables.

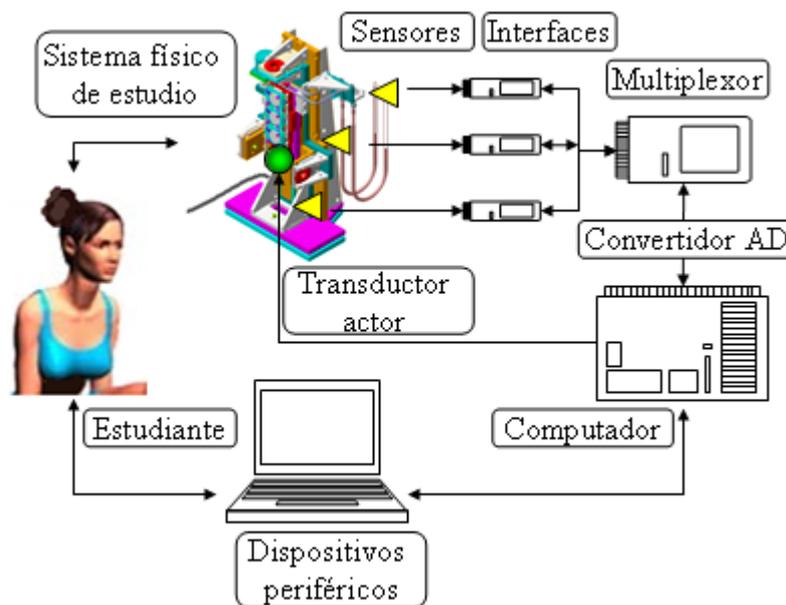


Fig. 10: Sistema de adquisición y procesamiento de datos en un MBL

La figura indica esquemáticamente un ensemble típico para un MBL. En la literatura es frecuente comenzar describiendo los sensores. Un sensor frecuentemente se define como un dispositivo que recibe y responde a una señal o estímulo. Los sensores básicos de los seres humanos son sus sentidos, aunque hay formas muy diversas de ellos en toda la naturaleza que dan lugar al reflejo. Pero esta definición es muy ambiciosa y por tanto vaga. Una ratonera es un sensor.

Fraden³²⁶ lo define de forma más precisa para nuestro contexto, como “un dispositivo que recibe un estímulo y responde con una señal eléctrica”.³²⁷

El propósito del sensor es responder a algún tipo de entrada de una propiedad física (estímulo) y convertirlo en una señal eléctrica (respuesta) que sea compatible con la electrónica. La relación entre estímulos y respuestas generalmente se modela con una relación matemática conocida como función de transferencia. En este sentido el sensor es un convertidor de estímulos energéticos de toda clase, en respuestas eléctricas que pueden ser subsiguientemente canalizadas, amplificadas, modificadas, transmitidas y representadas. Las salidas de estos sensores generalmente aparecen en forma de voltaje, corriente o carga eléctrica. Los sensores, en dependencia de su diseño pueden ser activos o pasivos, simples o complejos, intrínsecos o extrínsecos, con conexión alámbrica o inalámbricos, locales o remotos.

El principio de funcionamiento de un sensor³²⁸ es algo tan fascinante como el trabajo que este realiza. Las más diversas leyes de la naturaleza pueden intervenir en su funcionamiento, a veces de forma directa, a veces en forma de una cadena de

³²⁶ Fraden, J. (2004): *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. ISBN 0-387-00750-4. Springer-Verlag, New York.

³²⁷ N. del A.: Aunque en la enorme mayoría de los casos las señales convertidas son eléctricas, tal y como van las cosas, sería preferible sustituir la palabra eléctrica por optoeléctrica.

³²⁸ N. del A.: Imagine el próximo Mundial de fútbol. A nadie se le ocurriría, en medio de una definición por penaltis entre Argentina y Brasil, estar dilucidando la naturaleza de los estímulos que activan un píxel de la pantalla gigante en donde se proyecta. Millones usan los dispositivos tecnológicos contemporáneos, pero muy pocos entienden las líneas generales de la ciencia que la sustenta. Todo radica en el carácter pragmático de su utilización y la premura de nuestros tiempos. Los sensores y transductores son un *leitmotiv* singular para cualquier curso de ciencias, son una pequeña concreción del carácter creador del ser humano que muy a menudo se desaprovecha. El autor de esta Tesis es un firme convencido – y fiel practicante – de que antes de usar un sensor, el estudiante ha de ser instruido en sus principios. Principios que puedan ser entendidos, no tecnología pormenorizada. En caso contrario, la ciencia y el arte se transmutan en magia.

transductores³²⁹ cuyo conveniente acoplamiento permita la detección adecuada del estímulo. Los transductores no son sólo receptores, sino que como actores permiten desencadenar otro tipo de respuesta no necesariamente eléctrica. Es común que sensores y transductores e interfaces³³⁰ se comercialicen en una sola unidad. En la actualidad hay sensores para una enorme cantidad de magnitudes físicas y químicas – posición, masa, tiempo, velocidad, fuerza, aceleración, voltaje, intensidad de corriente eléctrica, intensidad de campo magnético, intensidad luminosa... la lista es interminable. Es frecuente que una misma magnitud pueda ser evaluada con más de un tipo de sensor. Ello depende del diseño típico del experimento, sus necesidades en cuanto fiabilidad, precisión, estabilidad y por supuesto, el costo del dispositivo.

Cada interface, filtra, amplifica y adecua las señales de los sensores específicos antes de alimentar al multiplexor, un sistema de compuertas que ordena en fila las señales provenientes de los múltiples sensores, de modo tal que sólo se transmite uno a la vez. La digitalización de estas señales analógicas se realiza en un convertidor análogo digital. El computador es el cerebro de todo este ensamble electrónico, ordenando, controlando y secuenciando a cada uno de los elementos del sistema de captura y a transductores de respuesta que pueden activar otros mecanismo en el sistema físico de estudio (calentadores, relés, válvulas neumáticas, alarmas sonoras o visuales, etc.). El computador procesa la información mediante el software específico para cada sensor y luego la relaciona, analiza y sintetiza mediante la teoría programada. Como es natural, toda esta información puede ser registrada, almacenada, desplegada y transmitida a través de periféricos a los que los estudiantes tienen acceso. Entonces los jóvenes pueden interactuar con el sistema físico de estudio por cualquiera de estas dos vías: la directa, manipulando, operando y observando sobre el sistema físico de estudio y la indirecta, a través de

³²⁹ N. del A.: El transductor es un convertidor de un tipo de energía en otra, no necesariamente eléctrica. Los sensores son transductores pero no todo transductor es un sensor. Una palanca, una lámpara, un motor eléctrico no son sensores pero sí son transductores.

³³⁰ N. del A.: Del Lenguaje: La palabra reconocida por la RAE para estos dispositivos es interfaz, pero nadie en el mundo la emplea, suplantándola por el anglicismo burdo *interface*, cuyo plural, – ¡gracias a Dios! – vendría a ser el mismo en ambos idiomas.

la información desplegada en los periféricos, los comandos de acción que envía al computador y los transductores actores.

Hemos dejado en último término el sistema físico, no porque sea el menos importante sino porque es el que generalmente aparece relegado – a veces totalmente excluido – en los planes educativos. De alguna forma, en el marco escolar se ha hecho común que lo importante es el conjunto sensor – interface – computador. Pero olvidar el objeto de estudio, es como suponer que la vajilla de plata ha de saciar el apetito.

No se pretende en este trabajo discutir fortalezas y desventajas de las casas comerciales que proveen de estos recursos didácticos. Se dirá solamente que son muchas y de variada oferta y que la tendencia de los precios de adquisición es sostenida a la baja. Esto no implica que deba esperarse por las calendas griegas hasta que el equipamiento esté al alcance del último ciudadano. Eso sería fatal. Son múltiples las formas en que puede comenzarse a generalizar el uso de esta tecnología en Nuestra América: optimizando presupuestos, racionalizando y programando las adquisiciones, creando planes prioritarios para la educación de maestros y sustituyendo euros por ingenio. En nuestra opinión – opinión concretada y avalada por la experiencia – un claustro instruido y motivado puede hacer cosas increíbles con el cinco por ciento del presupuesto que requería la adquisición de un *full package* europeo.

No hay en la actualidad, justificación racional para negar a nuestros jóvenes este tipo de educación experimental. Incluso aquellos intentos timoratos de hace una década por bloquear la nueva tecnología, arguyendo factores tales como la necesidad de capacitar a los alumnos en las destrezas básicas de computación, manejo de paquetes informáticos y de software técnicos, han caído en total obsolescencia por cuanto la

nueva generación es “nativa digital”³³¹. Y hay más. Los métodos innovadores y las tecnologías emergentes en la educación, no lo son en la vida cotidiana. Desde hace décadas, cualquier lavadora, cualquier automóvil funciona bajo estos principios de captura, procesamiento, despliegue y control. Una vez más a la zaga, la escuela esta obligada a ejecutar este cambio por la sencilla razón de que la vida ya lo hizo. Y aun así, de seguro cometeremos errores. Pero “la verdad surge antes del error que de la confusión”³³².

Al Hacer, erramos. Pero no hay lugar al no hacer. La acción es impostergable.

5.4 El laboratorio. Aprendiendo Física con Ciencia, Tecnología e Ingenio

El peor enemigo de lo bueno es lo perfecto.
Anónimo

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha tenido lugares sagrados, sitios de veneración. Pueden ser cuevas y grutas o cimas y acantilados, simples montículos de piedra o templos como el Partenón, Santa Sofía o la Sagrada Familia. Las liturgias se concretan en el templo. Hay en ello una ruptura lógica muy difícil de superar: Si Dios vive en cada uno de nuestros corazones, ¿por qué es el templo la casa de Dios, por qué se equipara el templo con el cuerpo del Hijo? “El celo de tu casa me consume”³³³.

³³¹ N. del A: Pérez, hace una década, obtenía encuestas que indicaban que los profesores en Barcelona justificaban su falta de uso de las herramientas MBL porque: a) Adolecían de falta de materiales, b) Falta de locales para realizar las experiencias c) Razón elevada número de alumnos/número de microcomputadoras, d) Falta de información sobre las herramientas informáticas e) Formación insuficiente de la informática y de su intencionalidad didáctica. Todas las justificaciones materiales se han superado en diez años; las subjetivas ahí van.

Pérez, O. (2001): *El uso de experimentos en tiempo real: estudios de casos de profesores de Física de secundaria*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.

³³² Bacon, F. *The New Organon* (1620) in James Spedding, Robert Ellis and Douglas Heath (eds.), *The Works of Francis Bacon* (1887-1901), Vol. 4, 149.

³³³ Juan 2.17 *La Santa Biblia*, Reina Valera, 1960

La educación tradicional está sujeta a cultos de la misma naturaleza que las religiones. De forma análoga la educación exige sus espacios, sus templos para una litúrgica tan canonizada como la religiosa. Las liturgias exigen espacios y tiempos. Cada Santo con su día, cada misa a su hora. La teoría en el aula, la experimentación en el laboratorio. Aclárese que nuestra última intención sería intentar racionalizar los cultos religiosos. Lo que se desea es sencillamente comparar las manifestaciones de lo antropológico secular en la educación y la religión. En nuestra educación hay un lugar para escuchar y aprender conceptos y otro para ver cómo esas estructuras teóricas se concretan en la práctica. Al laboratorio puede irse con *jeans* rotos, pero con bata blanca.

Ha habido en la historia muchos intentos de romper estos esquemas, de crear una escuela en donde el humano se eduque libre en la misma unidad y diversidad del mundo que le rodea. Ejemplos antológicos – simultáneos pero contrapuestos – son la escuela de Bertrand Russell³³⁴ en Beacon Hill, Sussex y la colonia Máximo Gorki de Antón Makarenko³³⁵ en Poltava. Como figuras emblemáticas, casi míticas de sistemas antagónicos, ambos educadores y ambas escuelas cuentan en la actualidad con miles de partidarios. Pero la historia demuestra que a la postre sólo fueron experimentos efímeros, más bien sustentados por la genialidad de sus líderes que por la posibilidad de universalizar, de extender el modelo a todo el planeta. Los grandes impactos en la educación a veces dependen más de profesores instruidos, creativos, motivados y comprometidos que de los curriculistas. Los cambios en la educación universal han de ser moderados. La cultura es un ente demasiado inerte para pretender modificarla por decreto o incluso por ideas o ideales sublimes. Es en este sentido que debemos, a nuestro pesar, seguir pensando en ese templo de la experimentación que llamamos laboratorio. A pesar del *wireless*, de la nanotecnología, y el carácter portátil de los medios, la educación de la ciencia aún depende de espacios en donde las variables – pero sobre todo los recursos – puedan ser empleados de forma óptima. Los laboratorios han de disponer los equipamientos

³³⁴ Dewey, J. (1989): *Cómo pensamos*. ISBN: 84- 7509-514-3 Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona

³³⁵ Makarenko, A. (2000): *Poema Pedagógico*. ISBN: 9686136606 Ediciones Quinto Sol. México

de manera tal que se optimicen los recursos experimentales de la institución. El curriculum integrado de ciencias, ese concepto en donde la naturaleza, los humanos, su teoría y su praxis se hacen un todo orgánico, deberá aún esperar por tiempos más favorables.

Los laboratorios en nuestra experiencia fueron concebidos para estudiantes de los primeros años de ingeniería. En este epígrafe no se pretende dictar cátedra, ni mucho menos pretender ajustar la infinita variabilidad de condiciones locales a nuestra experiencia. Sólo hacer comentarios y sugerencias que puedan servir de pauta para un trabajo – siempre personalizado e independiente – de los profesores y administradores de cada centro educativo. La mira se enfoca entonces en escuelas latinoamericanas de ingeniería promedio, aunque su alcance es perfectamente válido para escuelas magisteriales e institutos preuniversitarios convencionales.

La Administración:

La situación en cuanto a la gerencia es muy similar a la que se presenta cuando se analiza el control de la calidad o la seguridad laboral de cualquier empresa. Si no se cuenta con el apoyo irrestricto de la alta gerencia, montar y mantener un laboratorio moderno van cuesta arriba. Sin una administración educativa que apoye este tipo de inversión, la tarea de los docentes será doblemente ardua. Tal y como ocurre con otros ámbitos administrativos, los gerentes deben tener una clara idea de las ventajas y desventajas que otorga este tipo de erogaciones, la seguridad en su uso y durabilidad, y cuánta confianza han de tener en que los docentes hagan un uso racional y sostenido de estos recursos. La respuesta del profesorado, en nuestros ámbitos latinoamericanos, comúnmente asume algunas de las siguientes posiciones:

- a) **Espera pasiva:** si es obligación de la administración suministrar el avituallamiento y si ésta no lo hace, de ella es la responsabilidad. El compás de espera, el teorema del mínimo esfuerzo y una cultura escolástica, hacen que la educación transcurra sin mención de los laboratorios.
- b) **Lo virtual se pretende como sucedáneo de lo real:** El profesorado opta por trabajar con simulaciones, buscando en la pantalla lo que no encuentra en la naturaleza. Ya hemos insistido suficientemente en la falacia epistemológica de tal estrategia, aunque loables sean las intenciones de estos profesores.

- c) **Exigencia desproporcionada:** El profesorado consulta los catálogos de las principales firmas europeas y norteamericanas, estima y calcula sobre la base de matrículas presentes y futuras, presenta luego una solicitud literalmente millonaria que desacredita por sí sola la petición.

La cultura de Nuestra América, tan rica y exuberante, juega en nuestra contra. La alegría se trastoca en pasiva bachata, la creatividad en justificación de lo virtual y la exigencia en manifiesto de nuestra religiosidad. Vamos al templo a pedir, a nuestros hogares a pedir, al sindicato a pedir, al gobierno a pedir. Nuestra América se ha convertido en santuario de peticiones. El sindicato magisterial no es otra cosa que una válvula de una sola vía. En lugar de requerir superación continua, exigencia ante el desempeño y más tiempo en nuestras aulas, pedimos mayores salarios, mayores prestaciones, mayores inversiones sin que la propuesta deba ser condicionada a alguna mejora en la competencia y el servicio. Ese es el camino más recto al desastre. Carlos Kasuga, ese latinoamericano japonés, retrata cabalmente la diferencia entre nuestra cultura y la cultura japonesa:

“... los sindicatos mexicanos presentan pliegos de peticiones y los sindicatos japoneses presentan pliegos de ofrecimientos. Si fabricarnos 1000 Datsun, el año entrante ofrecemos fabricar 1200 ¿Qué ofrece la empresa? Tenemos 5% de errores en la producción, ofrecemos reducirlos al 3% ¿Qué ofrece la empresa? ¡Pequeña, pero gran diferencia!”³³⁶

El magisterio tiene, por fuerza, que ser la avanzada de la sociedad futura. El magisterio debe dar el primer paso y demostrar que quiere y puede estar a la altura de nuestros tiempos. Ya se ha señalado que en cuanto a experimentación, son muchas las cosas que pueden hacerse con casi nada, involucrando a los estudiantes y sus familiares. Ese es el camino de la intencionalidad y la credibilidad. Si la gerencia educativa no se pronuncia tendrá que hacerlo ante eventos modestos que pongan al

³³⁶ Kasuga, C. (2007) *Los aspectos más importantes de la cultura empresarial japonesa*. Presentación de la Primera Convención Nacional de Emprendedores Universitarios. <http://www.ingenieria.uady.mx/weblioteca/IntroIng/Japon/CambiodeActitud.pdf>

descubierto lo imperioso –y factible – de una moderna experimentación educativa. Esto hemos hecho, ¿Qué ofrece el colegio, la universidad o el ministerio?

El equipamiento.

Un equipamiento experimental moderno para la enseñanza de la ciencia requiere mucho más de lo que exigía hace unos treinta años. Los locales han de disponer de microcomputadoras con *software* especializado, han de disponer de sensores, interfaces y multiplexores, pero también han de adquirirse aquellos elementos que permitan acceder directamente a la realidad física que será sujeto de estudio, un *hardware* que, como ya se ha indicado, muchas veces se da por sentado. También han de disponerse los muebles, los medios de seguridad adecuados, los múltiples suministros de energía y transporte de materiales como el agua, el gas, el aire comprimido, las fuentes de voltaje; el acceso adecuado a la Internet, la posibilidad de contar con puertos periféricos de intercambio de datos almacenados. Claro que se puede solicitar todo de un golpe, pero mayor será el golpe del montón de ceros del presupuesto, y aun mayor el golpe al no recibir respuesta alguna de la administración. En nuestros países latinoamericanos una estrategia más adecuada es proceder de forma paulatina, adquiriendo al mejor postor y aprovechando las ventajas que puede conferir el mercado local y el involucramiento de los estudiantes, la familia y las empresas locales. Si los curriculistas no lo hacen, tendrán que hacerlos los profesores. ¡Qué hermoso sería un sindicato que se ocupara de tales menesteres!

No puede esperarse que se confiera un Laboratorio totalmente equipado por parte de la Administración. De hecho, cuando esto ocurre, los resultados pueden ser contraproducentes. Los equipos no se usan de forma adecuada, se deterioran rápidamente o, en el peor de los casos, sencillamente nunca salen de sus cajas. La mayoría de las donaciones de este tipo que reciben escuelas y universidades públicas, terminan siendo breves fregonazos antes de que la falta de atención y experiencia dejen a la institución en donde mismo estaba: clamando por otra nueva donación que como maná caído del cielo sacie las eternas necesidades. La explicación es muy sencilla: tan o más importante que la tecnología educativa son los hombres y mujeres que la harán funcionar. Sin un profesorado instruido,

creativo, motivado y comprometido, no vale la pena invertir. Pero sin invertir, jamás se tendrá un profesorado con estas características.

La gerencia debe conferir pero controlando y condicionando. La gerencia deberá velar por la instrucción, pero también por el uso de esta nueva tecnología con la misma intensidad que un administrador industrial exige la capacitación de sus operarios y la productividad de sus maquinarias. La adquisición de estos medios por parte de la gerencia educativa debería ser paulatina, adecuada y condicionada al uso y resultados de la misma. En educación, los grandes desaciertos nunca son tecnológicos, siempre son humanos.

El local.

Otro de los eternos conflictos es el rechazo de las administraciones para conferir un local para el laboratorio cuyo uso y eficacia deberá darse por sentado. El local debe ser convenientemente utilizado si el proyecto ha de mantenerse y desarrollarse. Pero con grupos de estudiantes que rondan los cincuenta, la amenaza es muy real: o se emplean grandes locales con quince o más estaciones o puestos de trabajo, o se aglomeran alrededor de una estación siete u ocho personas, en cuyo caso el impacto y el carácter personal de la vivencia se distancian de forma irrecuperable. Este tema del número de estudiantes por grupo de trabajo ha sido discutido por mucho tiempo. La miseria y la indolencia han llevado las aulas universitarias a un estado de superpoblación³³⁷ irreconciliable con el uso adecuado de la nueva tecnología. En la práctica generalmente no se asocia a factores psicosociales, como debiera, sino a las posibilidades específicas del centro. Hay algunos establecimientos educativos

³³⁷ N. del A.: De acuerdo con Hawkins, una encuesta reciente a cargo del SRI Internacional (Stanford Research Institute of Stanford University) del World Links entre maestros de países en desarrollo, refleja que la mayoría de los profesores en países de África y América Latina tienen una razón estudiante-profesor del orden de 80:1. Maestros y alumnos debe lidiar con... diez a veinte computadoras para toda la escuela, si tienen suerte. Pero Hawkins también es enfático al señalar, como lección primera, que "los laboratorios de computación en los países en desarrollo requieren tiempo y dinero, pero funcionan".

Hawkins, R. (2003): *Ten Lessons for ICT and Education in the Developing World*. Chapter 4 of "The Global Information Technology Report 2001-2002: Readiness for the Networked World" World Links for Development Program. The World Bank Institute

que poseen sólo un prototipo de trabajo por sección, en cuyo caso cuarenta estudiantes realizan al unísono el mismo experimento convirtiendo la Práctica de Laboratorio en una Demostración de Cátedra. Del Lobo, un pelo.

Sin negar la utilidad inmensa de la Demostración de Cátedra, ver nunca es como hacer. Pudiera pensarse que el carácter formal es lo que debe primar ante un informe al Congreso, pero Eisenkraft, como buen maestro, sabe que el humor y la sencillez puede ser el mejor método para transmitir una verdad incuestionable. Al referirse a esta diferencia entre el ver y el hacer plantea:

“Observar a otras personas hacer ciencia nunca será un sustituto adecuado al hacer ciencia uno mismo. Durante veinticinco años, he visto a mi esposa tomar dos agujetas y golpear a un lado, a otro y de un lado a otro y luego sale un suéter. Realmente lo he observado en ocasiones con interés y atención fija. ¿Cuál es la probabilidad de que usted me de las agujas de tejer y un poco de lana y yo produzca un suéter?”³³⁸

Hay un problema adicional asociado con los laboratorios superpoblados: el factor seguridad. Un buen comunicador puede mantener el control de un auditorium con quinientos espectadores sin mucha dificultad, pero en la enseñanza experimental la atención debe ser, por fuerza, mucho más personalizada. Un laboratorio con cincuenta estudiantes se aloja muy cerca del séptimo anillo de Dante. Allí, incluso con la ayuda de auxiliares, impera el caos y la inseguridad. La inseguridad aquí se manifiesta básicamente en dos formas:

a) La asociada con la seguridad de los propios estudiantes. El diseño de los laboratorios debe perseguir un entorno en donde el accidente sea prácticamente imposible. Las sustancias inertes, los voltajes bajos, los recipientes plásticos en lugar de vítreos, conforman parte de una previsión siempre perfectible. Alertas y advertencias se asocian con medios de

³³⁸ Eisenkraft, A. (2007): *Improving the Laboratory Experience for America's High School Students*. USA Congressional Testimony. The Subcommittee on Research and Science Education of the House Committee on Science and Technology.

protección personales y colectivos duplicados y hasta triplicados. Pero la Teoría de la Fiabilidad enseña que es imposible garantizar la confianza sobre un sistema de humanos adolescentes interactuando sin supervisión adecuada. Nada está a prueba de inexpertos. De lo anterior se infiere la necesidad de una supervisión personalizada que depende de la complejidad y riesgo intrínseco del experimento, la pericia del docente y de la experiencia y madurez de los estudiantes.

b) La asociada al propio equipamiento. La inexperiencia – o la desidia – son la causas fundamentales del daño a muchos equipos de laboratorio. Sin importar lo relevante de las indicaciones, siempre habrá quien coloque un amperímetro en paralelo o vierta agua sobre el ácido. Las pérdidas por hurto o extravío son también causa frecuente del retiro prematuro de servicio de estos ensembles. Cables, sensores, interfaces e instrumentos son suficientemente minúsculos como para pasar inadvertidos, por dolo o por olvido, entre bolsos y bolsillos. El ambiente de respeto, control, profesionalismo y responsabilidad son claves para este fin. Esto no implica, en lo absoluto, convertir el Laboratorio en un entorno represivo y enclaustrado como cárcel de máxima seguridad. Por el contrario, el clima de responsabilidad colectiva y el someterse a reglas predeterminadas, son claves para el funcionamiento exitoso y prolongado de estas instalaciones. Todo acercamiento inicial al laboratorio deberá ser precedido por ese pacto formal de acatar las normas que la seguridad y el sano raciocinio exigen para el buen desempeño.

Estos riesgos van disminuyendo en la medida que la madurez y la responsabilidad se van formando como hábitos en los años superiores, pero nunca pueden ser descuidados.

El uso de los locales, si los laboratorios pueden ubicarse en horarios fuera de la distribución curricular ordinaria, puede ser una solución sencilla. Pero si los

laboratorios deben impartirse dentro de la misma jornada³³⁹ hay aún una posibilidad que permite hacer un uso intensivo y personalizado del laboratorio con pocas estaciones y poco equipamiento. Esta opción involucra subdividir las secciones en dos o más grupos cuyos integrantes se alternan entre las prácticas de laboratorio y clases de ejercitación. En este sentido ha de sacrificarse esa máxima que exige que sea el mismo profesor que imparte la teoría el mismo que atiende el laboratorio. Para ello ha de reconfigurarse el currículo para hacer que estas secciones de laboratorio y de ejercitación, sean desarrolladas de forma duplicada con los subsiguientes gastos extras de todo tipo. Pero de esta forma, un local de unos 40 m², equipado con solo seis estaciones de trabajo, pueden llegar a atender a más de 500 estudiantes por semana, siempre que la organización de la institución favorezca el cronograma.

Integrar es la palabra de orden. La división del currículo en asignaturas tiende a crear minifeudos en los que cada catedrático se siente subvalorado en su disciplina, cada uno clama por más horas a la semana, más crédito, más preponderancia. Así como en las bandas improvisadas de jazz en las que cada integrante es una estrella virtuosa, y la música se trastoca en ruido cacofónico, así ocurre en la educación día tras día. Nuestra clase es la mejor, la más importante. Este egocentrismo disciplinar se ha reflejado por mucho tiempo en el currículo.³⁴⁰

Hay algo adicional que debe ser destacado en cuanto a los locales. Hay que hacer el máximo esfuerzo para que luzcan y estén limpios, organizados, pulcros y a tono con las exigencias del orden y la nueva tecnología. Esa atmósfera, al parecer dentro del marco estético, es sin embargo de gran ayuda para el sano desenvolvimiento de todo

³³⁹ N. del A.: Muchos estudiantes tienen necesidad de trabajar media jornada para poder sufragar los costos de su educación universitaria. Si un joven comienza a trabajar a las dos de la tarde, carece de sentido programarle un laboratorio a las cuatro.

³⁴⁰ N. del A.: Ya aparece de forma muy marcada en el *Report of the Committee of Ten*. En lo único que coinciden todos es que su asignatura recibe menos atención que la que debiera. National Education Association (1894): *Report of the committee of ten on secondary school studies with the reports of the conferences arranged by the committee*. American Book Company. New York.

el proyecto.³⁴¹ Hofstein y Lunetta señalan que estos elementos estéticos, sin ser el aspecto más sobresaliente, inciden de lo afectivo a lo cognitivo:

“El entorno de aprendizaje... está influido, en parte, por los materiales, aparatos, recursos y entorno físico, pero el ambiente de aprendizaje que resulta es mucho más una función del clima y las expectativas para el aprendizaje, la colaboración y la interacción social entre estudiantes y profesores, y la naturaleza de la investigación que se lleva a cabo en el laboratorio.”³⁴²

El diseño didáctico:

El diseño didáctico, como es natural, ha de depender de las competencias propuestas y de los recursos humanos y materiales involucrados. El diseño de la experimentación tradicional ha sido enfocado a la búsqueda de la concordancia perfecta entre el experimento y la teoría. Singer, refiriéndose a los laboratorios didácticos en Estados Unidos de Norteamérica señala al respecto:

“Históricamente, las experiencias de laboratorio en los Estados Unidos se han aislado del flujo instructivo de la ciencia, y este enfoque permanece hasta nuestros días. Estos laboratorios típicos no son más eficaces que otras formas de enseñanza de la ciencia para ayudar a los estudiantes a desarrollar los aspectos básicos de la asignatura, sino a desarrollar algunos aspectos del razonamiento científico. Sin embargo, estas experiencias de laboratorio son a menudo limitadas en su alcance, centrándose más en el seguimiento

³⁴¹ N. del A.: De la Vida Real. ¿Quién ha dicho que los latinos no podemos respetar las reglas? Si a los jóvenes se les presentan normas claras, justificadas y que cuyo cumplimiento sea obligatorio, la inmensa mayoría de ellos las respetará con naturalidad. Hay, dentro del espíritu juvenil, una disciplina natural. En nuestra experiencia de varios años, seguir y mantener este protocolo de normas en el laboratorio surte un efecto más fluido en el buen comportamiento que el que se aprecia en otro tipo de actividades. Aquí se respeta la hora de comienzo y finalización, no se oye el sonar o vibrar continuo de teléfonos, se evitan prendas y joyas metálicas, la ingesta de alimentos... Todo esto sin represalias, pero con racional y firme exigencia. Hay en ello algo sinérgico, algo que se fundamenta en toda la atmósfera a la que se ha hecho referencia.

³⁴² Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88, 2004

de procedimientos por los alumnos que en la construcción de significados de sus actividades.”³⁴³

Ese es uno de los primeros obstáculos a superar. Habrá que insistir siempre en otro tipo de experimentación, una experimentación problémica. Habrá que diseñar el acercamiento a la realidad con curiosidad y respeto, con elasticidad en la mente y disciplina en el comportamiento, pero en el entendimiento de que sólo somos “niños pequeños que, jugando en la playa, encontramos de tarde en tarde un guijarro más fino o una concha más bonita de lo normal”. ¿Pero cómo hacer problémica una experimentación con una ciencia madura y establecida?

La experimentación no puede pretender negar aquellas leyes del mundo cuyo comportamiento son objeto de aprendizaje. Se diseñan las experiencias para que aparezcan, por supuesto, los resultados esperados. Pero de vez en vez, también habrá de aparecer algo que estremezca la estabilidad de los modelos propuestos. Estos son los desacuerdos que deben ser cuidadosamente planificados. Se introducen como paradojas, que se hacen dilemas, que se proyectan hacia un estudio futuro. Veamos un ejemplo. Una esfera que rueda por un plano inclinado, tiene en teoría una aceleración que no depende de la masa. Ahora se colocan sobre una canal en forma de V dos esferas de diferentes tamaños y se hacen rodar juntas. Nada anormal ocurre y ambos cuerpos se mueven al unísono. Se invierte el orden de las esferas ¡y ahora se separan! Se rompe un modelo, lo aprendido es válido sólo bajo ciertas circunstancias, es preciso seguir estudiando.

El laboratorio es el mejor lugar para abordar estas características de la ciencia imperfecta, falible y en eterna evolución. En la inmensa mayoría de las experiencias no sólo es posible mostrar cómo falla la teoría por todo tipo de errores y accidentes, sino que es también posible poner de manifiesto la falla del modelo teórico que se ha empleado. En nuestra experiencia docente, estos momentos de ruptura siempre son factibles de encontrar y señalar. Como norma se hacen aparecer al final de la sesión

³⁴³ Singer, S. (2005): *Needing a New Approach to Science Labs*. *Science Teacher*, V72 n7 p10 Oct 2005

experimental, cuando todo parece haber quedado de acuerdo con los cánones de la ciencia normal. En ocasiones se indica en qué otro momento será aclarada esta supuesta “contradicción”, mientras que otras no se añade ningún comentario, dejándolo sólo como elemento interrogativo. Solo a manera de ejemplos puede citarse la inconstancia de la aceleración de caída cuando se involucra la fricción del aire, la falla aparente de la segunda ley de Newton en móviles con masa variables, la violación aparente de la ley de Ohm cuando aumenta la temperatura del resistor o cuando se estudia una barrera NP, la dependencia del índice de refracción no sólo de la sustancia sino de la frecuencia de la luz.

El National Research Council (NRC) identifica cuatro principios de diseño didáctico que pueden mejorar la eficacia de los laboratorios. Estos son:

- 1- Diseño de laboratorios con objetivos claramente establecidos.
- 2- Cuidadosa selección del orden de estas experiencias de laboratorio dentro del flujo de aprendizaje de las ciencias.
- 3- Integración del contenido de aprendizaje de las ciencias con el aprendizaje acerca de los procesos de la ciencia.
- 4- Incorporación de la reflexión y el debate de los estudiantes como resultado de todo el proceso.

El concepto básico detrás de este planteamiento es el de "las unidades integradas de instrucción", una forma de diseño curricular integral que unifica y combina el proceso de enseñanza aprendizaje rompiendo las barreras impuestas por la tradición entre la teoría, la práctica y las distintas formas de didácticas.

“Por el contrario, "las unidades integradas de instrucción" parecen ser más eficaces al secuenciar las experiencias de laboratorio con la de la enseñanza en el aula y otras actividades de aprendizaje animando a los estudiantes a discutir y reflexionar sobre sus observaciones de laboratorio”³⁴⁴

³⁴⁴ National Research Council (2006): *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, Editors: S.R. Singer, M.L. Hilton, and H.A. Schweingruber. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education: The National Academies Press. Washington, DC

Las "unidades integradas de instrucción" se fundamentan en tesis constructivistas en donde el descubrimiento, o el descubrimiento guiado, son premisas que anteceden lo que será visto en la clase teórica. El laboratorio no se ve aislado sino visto como parte armónica de todo el proceso. Esto rompe totalmente con el uso convencional que del Laboratorio se ha hecho: comprobar en la práctica la validez de la teoría previamente enseñada.

La Instrucción Integrada permite resolver la inversión entre teoría y práctica como causa de las concepciones erróneas que arrastran nuestros estudiantes de por vida. Eisenkraft,³⁴⁵ tomando como ejemplo la enseñanza del concepto de densidad, parodia las formas de enseñanza de la siguiente manera:

– Mediante Instrucción Tradicional: la densidad sirve para esto, así se define, éstas son las unidades, hagamos un ejercicio, otro más complejo, mañana evaluamos, hagamos un laboratorio para medir densidades de sólidos y líquidos...

– Mediante Instrucción Integrada: evalúen experimentalmente la razón entre masa y volumen para distintas cantidades de agua, repitan el procedimiento con otras sustancias, ¿qué observa?, ¿depende la razón de la cantidad de sustancia?, ¿creen que si les damos la masa y el volumen de un cuerpo puedan identificar la naturaleza de la sustancia?...

La Instrucción Integrada se facilita mucho gracias a la versatilidad, rapidez y elegancia que permite el uso de las nuevas herramientas MBL. Estas nuevas herramientas pueden revolucionar la forma de enseñar la ciencia, rompiendo con esa tendencia aristotélica de definir y clasificar ante todo. La razón tiene como límite al experimento. El propio Dewey lo sugiere cuando plantea:

“La ciencia experimental significa la posibilidad de usar experiencias pasadas como sirvientes, no como las armas del espíritu. Significa

³⁴⁵ Eisenkraft, A. (2007): *Improving the Laboratory Experience for America's High School Students*. USA Congressional Testimony. The Subcommittee on Research and Science Education of the House Committee on Science and Technology.

que la razón opera dentro de la experiencia, y no más allá de ella, para darle una cualidad inteligente o razonable.”³⁴⁶

Si la ciencia es el estudio de la naturaleza, si la naturaleza es todo lo que nos rodea, si disponemos de dispositivos que permiten el aprendizaje facilitado por estas herramientas seguras, si la retroalimentación gráfica o numérica es casi inmediata, entonces no necesitamos cuantizar salones, anfiteatros, talleres o laboratorios. La educación de la ciencia, libre de singularidades se desarrolla en un continuo sin restricciones impuestas ¡Que el espacio y el tiempo pedagógico sean tan continuos como el espacio y el tiempo de la naturaleza! Esa será, sin duda, la forma en que aprendan nuestros nietos.

Pero aquí termina la ilusión. «¡Qué pesadez!... ¡Qué manera de razonar tienen todas estas criaturas! ¡Hay para volverse loco!»³⁴⁷. Una vez más suenan los cantos de sirena. Lo que el National Research Council sugiere en su *America's Lab Report*, es una forma muy velada de empirismo. La epistemología de la ciencia conduce al equilibrio entre teoría y práctica, nunca a la parcialidad. Han de superarse estas tendencias monistas que hacen primar lo racional sobre empírico o lo empírico sobre lo racional.

³⁴⁶ Dewey, J. (1967): *Democracia y Educación*. Una introducción a la filosofía de la educación. Didáctica, Innovación y Multimedia. ISBN 1699-3748. Editorial Losada. Buenos Aires.

³⁴⁷ La cita es de Alicia en el país de las maravillas. Carroll, L. (2002): *Alicia en el país de las maravillas*. ISBN 84-666-0802-8. Ediciones B. Barcelona.

5.5 Superando tendencias Monistas.

Las teorías del aprendizaje... son aproximaciones a menudo parciales y restringidas a aspectos y áreas concretas del aprendizaje. Dificilmente constituyen un cuerpo integrado de conocimientos capaces de explicar el sentido global de los fenómenos complejos que ocurren en el aprendizaje escolar, desde la influencia de los factores materiales, personales y metodológicos de la institución escolar hasta los influjos semicultos de la experiencia extraescolar, desde la caracterización de la dimensión cognitiva hasta la identificación de la incidencia afectiva.

José Gimeno Sacristán ³⁴⁸

A la pregunta de qué va primero, la teoría o la experiencia, la respuesta sobre la base de evidencias vuelve a ser un lacónico «depende».

Desde fundamentos psicopedagógico llegan los *organizadores previos* de Ausubel ³⁴⁹ y mucha, mucha evidencia que manifiesta que lo experimental debe, en ocasiones, ser precedido de cierta información previa para que adquiera sentido. Bishop y Denley ³⁵⁰ ponen como contraejemplo una investigación en donde se describe el fracaso de intentar una disección de un corazón antes de entender muy bien las generalidades teóricas del sistema circulatorio. A pocos se les ocurriría darles instrumentos a los jóvenes para que, por ensayo y error, reconocieran que el amperímetro ha de colocarse en serie y nunca en paralelo. Asesino sería quien diera material radioactivo, hasta que se redescubriera, a un precio terrible, el efecto cancerígeno de la sustancia.

Hay además, un elemento ilógico y contradictorio, que convierte en irrealizable este tipo de educación integrada, al menos como se propugna. Se presupone que en estas

³⁴⁸ Gimeno Sacristán, J.; Gómez, J. (1997): *Comprender y transformar la enseñanza*. Colección Pedagogía. ISBN 8471123738 Ediciones Morata. Madrid

³⁴⁹ Joyce, B.; Weil, M. (1985): *Los Organizadores Previos: mejorar la eficacia del estudio y de otros modos de presentación de información*. En *Modelos de Enseñanza*. Editorial Anaya. Madrid.

³⁵⁰ Bishop, K.; Denley P. (2007): *Learning Science Teaching* ISBN-13: 978 0335 22235 3. McGraw-Hill London

formas constructivistas, problémicas de enseñanza, el humano no tiene la respuesta a la mano. Pero todos conocemos el poder de la tentación, la tendencia irresistible de saber cuál es la solución del problema volteando la hoja, preguntándole al amigo o buscando en Google. ¿Quién impide que en este mundo de la información el joven, siempre apurado, empiece justo por buscar estos resúmenes³⁵¹ y compendios que aparecen por doquier como comida rápida? ¿Les prohibiremos el uso de la Internet? Ya hemos hecho referencia a las heurísticas múltiples. Es posible que pensemos que irán al laboratorio, determinarán masa y volumen del magnesio, calcularán la razón, compararán y entregarán la densidad con sus unidades. Pero lo que hacen es teclear en el móvil y obtener el resultado directo, limpio y por añadidura en tres sistemas de medición diferentes: $1740 \text{ kg/m}^3 = 0.063 \text{ lb/in}^3 = 108.6 \text{ lb/ft}^3$.

Se olvida, en resumen, que el experimento está cargado de teoría; se olvida que los humanos intentamos siempre obtener ventajas³⁵², se olvida que una de las más

³⁵¹ N. del A.: Junto al río Tormes, en la campiña de Castilla y León, se halla Salamanca, ahora casi un villorrio si se compara con otras urbes; pero en su tiempo, sinónimo de educación primigenia. Allí fundó Alfonso IX de León, en 1218, la primera universidad española y la más prestigiosa de su tiempo dada la influencia que tuvo del legado árabe. Fueron los árabes quienes conservaron y desarrollaron la herencia de la Roma y la Atenas clásicas. De allí surge el lema “Quod natura non dat, Salamantica non praestat”, que significa literalmente “Lo que la naturaleza no da, Salamanca no presta”. Aprender es una actividad conciente que exige esfuerzo, energéticamente dolorosa.

Desde la Salamanca del siglo XXI, para todo el mundo, se emite el sitio «*Rincón del vago*» (<http://www.rincondelvago.com/>) El sitio lleva doce años en línea. Revisando cifras, en 2007 había recibido una de media mensual de más de 21 millones de visitas con 242 millones de páginas vistas desde todas partes del orbe, convirtiéndose en parte del elenco de los 400 dominios más visitado en el mundo. Todo, como la comida chatarra, fácil de deglutir.

“Lo que la naturaleza no da, Salamanca presta”.

Sin importar las quejas de los profesores y el debate sobre lo pernicioso para los alumnos, el teorema del menor esfuerzo, la tendencia al facilismo inmediato, nunca deben ser subvalorada.

Fuente: <http://www.laflecha.net/canales/blackhats/la-web-el-rincon-del-vago-celebra-su-decimo-aniversario/>

³⁵² N. del A.: Las expectativas de la experimentación educativa no coinciden, ni podrán nunca hacerlo con las expectativas de la investigación científica. Ya hemos hecho referencia al hecho que enseñamos sólo ciencia hecha, madura y establecida, al menos hasta la enseñanza de pregrado. Nosotros sabemos “el resultado”; nuestros discípulos saben que “nosotros sabemos el resultado” y explotan ese conocimiento de múltiples formas. Es ingenuo suponer que no saben que sabemos. Luego, el diseño del experimento ha de basarse más en la intriga que en la ilusión. Santa Claus exige la inocencia de la primera infancia, pero poco queda de ella en la adolescencia. En la experimentación didáctica Holmes derrota al Santa.

grandes fortalezas del humano es aprender de la historia, de la herencia cultural, de los aciertos y errores ancestrales. El constructivismo no debería partir del cero de la *tabula rasa*.

Esa misma historia, esa misma herencia cultural, nos debe recordar siempre que la enseñanza, como Arte y como Ciencia, no debe ceñirse nunca a un único esquema, que ningún modelo de aprendizaje puede monopolizar la práctica docente. Las unidades integradas de instrucción que se acaban de analizar permiten ejemplificar cómo el diseño didáctico del laboratorio puede abordarse mediante dos modelos constructivistas de aproximación experimental que divergen en su presunción básica: el conocimiento previo de la teoría hecha. Tal y como se ha señalado, el modelo de las unidades integradas parte de la premisa de que los estudiantes no conocen el tema de estudio *antes* de la experimentación. Es la experimentación guiada la que permite construir los conceptos, crear las necesidades y regularidades cognitivas a partir de una evidencia observada de primera mano.

El otro esquema didáctico contrapuesto, es el de las *tareas estructuradas* de White y Gunstone³⁵³. En un artículo ya clásico, estos autores propusieron un modelo de diseño del laboratorio que se ha dado a conocer por las siglas del acrónimo POE, « Predict - Observe - Explain » (predecir, observar, explicar). El diseño POE considera que, si bien hay experiencias únicas que se retienen de por vida, muchas actividades prácticas pueden ser más efectivas mediante un diseño que anime el pensamiento de los estudiantes a más altos vuelos *antes* de hacer alguna observación. En este esquema, a los estudiantes primero se les insta a predecir por escrito lo que se espera que suceda. Luego desarrollan el experimento y hacen algunas observaciones para finalmente explicar lo observado, que puede o no concordar con lo predicho. El método, que se ha extendido notoriamente, ha demostrado una serie de fortalezas. Por ejemplo ha probado ser efectivo en el combate a las concepciones erróneas a partir del trabajo práctico, a potenciado el reto cognitivo de lo experimental haciéndolo más activo y expectante para los estudiantes, y por ende, ha reforzado el

³⁵³ White, R.; Gunstone, R. (1992): *Prediction - Observation - Explanation*. Chapter 3 in *Probing Understanding*. The Falmer Press, London.

elemento lúdico y motivante de toda la experiencia. Millar, quien clasifica el diseño POE como «éxito sorprendente», recalca sin embargo, que cuando esta estructura de tareas falla como evento de aprendizaje, la razón es a menudo que “el dominio de las ideas ha sido ignorado en el diseño de las tareas”³⁵⁴

“... la prevalencia de la visión empirista/ inductiva de la ciencia... considera que las ideas “emergen” de forma automática del evento en sí, siempre que los estudiantes trabajen con suficiente cuidado. En la práctica esto rara vez sucede; el punto de vista de la ciencia hipotético-deductivo puede explicar por qué. El trabajo práctico es no obstante necesario para el desarrollo de la comprensión por los estudiantes de los conceptos y explicaciones científicas. Es, como Piaget argumenta, mediante la acción sobre el mundo que nuestras ideas sobre él se desarrollan. Los estudiantes necesitan tener experiencias de acción en el mundo, a la luz de una teoría o modelo, y ver los resultados. Sólo de esta manera pueden llegar a comprender las representaciones teóricas que imponemos sobre el mundo real para ayudarnos a explicar y predecir su comportamiento... Una vez más la estructura POE puede ayudar, si los estudiantes ya tienen suficiente comprensión teórica del fenómeno en cuestión para hacer predicciones comprobables.”³⁵⁵,³⁵⁶

Pero esto hace de la teoría preámbulo del experimento y nuevamente caemos en un absolutismo, genéticamente racionalista en este caso. Ahora el paradigma es literalmente opuesto al planteado por el diseño de "unidades integradas de instrucción" y como educadores nos vemos inmensos en un impasse, oscilando entre

³⁵⁴ N. del A.: Muchas experiencias puntuales en la estrategia POE fracasan por este motivo. A la crítica del trabajo mecánico, de seguir la pauta como receta de cocina en el laboratorio, ya estamos habituados. Lo que no es tan frecuente en la literatura es el reconocimiento de este requisito cognitivo para que la experiencia adquiera sentido. De nada vale que la teoría haya sido explicada si aún no está aprendida. Muchas experiencias puntuales en la estrategia POE fracasan por este motivo.

³⁵⁵ Millar, R.: *The role of practical work in the teaching and learning of science*. University of York. Paper prepared for the Meeting: High School Science Laboratories: Role and Vision National Academy of Sciences, Washington, DC. June 2004

³⁵⁶ N. del A.: El subrayado es nuestro.

dos extremos de un callejón sin salida llamado reduccionismo. Superar estas tendencias monistas de la teoría educativa es la única salida, a menos que caigamos en la inanición. Como el indeciso que describe Aristóteles³⁵⁷ en *De Caelo*, como el Asno de Buridán que muere de hambre rodeado de comida, así se congela la teoría educativa cuando pretende seguir estas tesis reduccionistas.

La razón pura, ciega. Seguir en lo educativo el Principio de Leibniz de la Razón Suficiente³⁵⁸ significa muerte por quietismo. Una vez más, la razón pedagógica debe buscar el equilibrio. En nuestras escuelas deben y pueden aplicarse y desarrollarse³⁵⁹ los diseños POE y de "unidades integradas de instrucción", y cualquier otro³⁶⁰ siempre que se contextualicen, siempre que se hagan armónicas, siempre que no se hagan absolutas.

³⁵⁷ ...él que padece terriblemente de hambre y sed pero que dista lo mismo de los alimentos y de las bebidas, éste, en efecto, se dice que forzosamente permanecerá quieto...
Aristóteles: *De Caelo*. Libro 2.

³⁵⁸ N. del A.: El principio afirma: "Si no hay una razón suficiente para que una cosa suceda en vez de otra, no sucede nada, la situación inicial no cambia"

³⁵⁹ N. del A.: De la Vida Real. Durante años, en nuestros laboratorios, hemos empleado una variante de POE en la que no se escribe de forma individual. Es a cada subgrupo, como ya hemos indicado generalmente de tres estudiantes, al que se le encomienda, tras debate interno, emitir el juicio predictivo. Luego cada subgrupo emite su juicio y justificación de forma oral *antes* de que la observación sea desarrollada. Se genera entonces el debate razonado. Con esto integramos una vez más lo social y evitamos las falacias de acertar una predicción sobre bases epistémicas incorrectas. El punto no debe ser adivinar ni predecir mediante las reglas del horóscopo, sino mediante las reglas de la naturaleza.

³⁶⁰ N. del A.: Tiberghien, por ejemplo, emplea un método ostensivo inductivo. Se introduce un ejemplo experimental y se justifica a partir de "la semilla" de un nuevo modelo teórico, por ejemplo, el principio de conservación de la energía. Luego se emplean otras experiencias para que, a partir de analogías, los estudiantes intenten describir lo ocurrido a la luz de la teoría que se requiere implantar. El método es de alta demanda cognitiva, de respuesta muy personalizada y por tanto mucho más demandante en tiempo y atención del docente que lo que pudiera pensarse a simple vista. Toda curva de aprendizaje tiene derivada positiva, pero decreciente, de modo tal que los saltos más bruscos ocurren siempre en los primeros estadios. La perspectiva incremental para el profesor nunca es la misma que para el novel. Así se manifiesta, muy frecuentemente, la "Maldición del Conocimiento" en el aspecto temporal. Diseñamos para cincuenta minutos, porque *sabemos*, pero luego la práctica indica que requerimos doscientos.

Tiberghien, A. (1996): *Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy*. In Welford, G., Osborne, J. and Scott, P. (eds.), *Research in Science Education in Europe*. Current Issues and Themes Falmer Press. London.

No puede haber, en la educación experimental, métodos únicos e inflexibles. La educación y el aprendizaje deben abordarse desde una postura holística. Combinar con sabiduría y sentido de ubicuidad es lo que se impone. Si esto se admite, múltiples estrategias de diseño podrán ser empleadas por docentes instruidos, creativos, motivados, colaborativos y comprometidos, para proporcionar una experiencia de aprendizaje adaptada a emplear distintos enfoques de enseñanza y distintos marcos de aprendizaje en ese único entorno del laboratorio.

Al aprender, siempre se conjugan varios modelos de aprendizaje. Suponer que la enseñanza toda – y la experimental en particular – pueden transcurrir dentro de un modelo único, rebasa la ideología para convertirse en mitología.

5.6 Más allá de las quimeras teóricas.

Más allá de las quimeras teóricas, poco dura la alegría en casa del pobre. En Nuestra América, más allá de lo epistémico, más allá del diseño curricular, la ilusión termina cuando analizamos qué se requiere para desarrollar un curso de acuerdo a los esquemas modernos para el laboratorio:

- a) Se necesita, ante todo, locales equipados de modo tal que TODOS los alumnos tengan acceso directo e inmediato a esa realidad condicionada que llamamos experimentación. En efecto, la integración espacial no es aquí mezcla, no es siquiera eliminación de las barreras físicas o temporales, sino conversión del aula en laboratorio y del laboratorio en Universo.
- b) Se requiere una enorme presión administrativa para implantar y mantener funcionando tamaña maquinaria.
- c) Se necesita un maestro educado – o reeducado – en estas nuevas formas de enseñanzas tan variables que envejecen antes de estrenarse. El entrenamiento en estas nuevas formas es literalmente continuo.
- d) Se condiciona a la ruptura con los paradigmas curriculares en donde los planes de estudio son calendarizados de forma escrupulosa. Más allá de lo que digan los teóricos de la educación, el mercado educativo se rige por cronogramas inflexibles – cada vez más apresurados – y la enseñanza constructivista basada en estas estrategias requiere más tiempo y más

elasticidad que la enseñanza tradicional³⁶¹. Graduamos universitarios cada vez en menor tiempo: es esa la realidad observada. Hace un tiempo pasamos de los seis años a los cinco, luego de los cinco a los cuatro y ahora de los cuatro a los tres. Alexander,³⁶² en un artículo titulado « *¿Por qué la universidad debería durar sólo tres años?*», justifica esta reducción como premisa ineludible para optimizar los costos en que incurren alumnos y estado en la educación superior. Lo óptimo como paradigma empresarial, se afianza en el currículo educativo. Al fin y al cabo el tiempo es dinero, y es el dinero el que mueve el mercado educativo, no el aprendizaje significativo.

- e) Se precisa enfrentar enormes poderes económicos que quedarían desplazados en esta nueva forma. Mencionemos por ejemplo las editoriales. El libro de texto es el sostén de la forma tradicional de enseñanza. Por encima de la propaganda, el libro de texto se sigue diseñando más para la acción expositiva del profesor que para el aprendizaje independiente del estudiante. El texto le habla al maestro: Es ésto lo que has de repetir y ésto lo que has de obviar, éste el ejemplo, éste el examen. La evolución de las editoriales se hace más rica en cuanto a materiales audiovisuales, ejercicios en línea, *software* para generar evaluaciones, *software* para llevar un control de estadísticas... Todos estos avances, todo este énfasis se centra más en el

³⁶¹ N. del A.: Hofstein y Lunetta citan a Gunstone y Champagne quienes plantean que «un aprendizaje significativo en el laboratorio pudiera ocurrir si los estudiantes tuvieran suficiente tiempo y oportunidades para la interacción y la acción». Mejor aprendizaje, mayor el tiempo requerido

Gunstone, R.; Champagne, A. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Ed.), *The student laboratory and the science curriculum*. Routledge. London.

Citado en: Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88, 2004.

³⁶² N. del A.: Claro que Alexander, ex-asistente del Secretario de Educación, señala un poco más adelante que la opción sería válida para estudiantes aventajados, pero no se pronuncia con respecto al tipo de especialidad en la que supuestamente se aplicarían los nuevos tiempos. La semilla de los tres años ya está sembrada y pronto se verá germinar. Lo que Alexander nunca menciona es que la especie humana es la que mayor tiempo exige para la educación de sus infantes, infantes que ya van superando los treinta años antes de su independencia plena. A medida que aumenta la complejidad de la sociedad, mayor el tiempo requerido para la consecución de su educación.

Alexander, L. (2009): *Why College should take only 3 years*. Newsweek. October 26, 2009.

respaldo a una práctica docente tradicional que a la consecución de una enseñanza significativa para nuestros estudiantes. Si el clamor de que nuestros jóvenes leen cada vez menos es casi universal, ¿porqué se mantiene el texto como herramienta básica de aprendizaje?

- f) Se pretende que la razón alumnos-profesor sea lo suficientemente baja como para que se pueda mantener un control sobre la actividad. O se reduce la razón o como ya se ha manifestado tendrá que multiplicarse el número de auxiliares para hacer frente a los múltiples contratiempos e imprevistos que surgen en el trabajo experimental. Al final es exactamente lo mismo. ¿Será que alguno de los teóricos ha pensado en cómo desarrollar estas nuevas formas frente a un grupo de 80 estudiantes? ¿Será que olvidan que el proceso de enseñanza aprendizaje nunca se ha desvinculado de su impronta personal?
- g) Se pretende disponer de un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido, capaz de aceptar los retos y asumir las enormes responsabilidades que lo experimental continuo añade a la ardua tarea. Una vez más, ¿nos favorecen las evidencias?

¿Para qué luchar entonces por un laboratorio cuya forma ya se sabe obsoleta y anacrónica? ¿Será posible dar un salto cuántico y pasar del siglo XIX al XXI? Al final – diría un humorista – lo que cambia es la posición del I y enseñar es enseñar... que importa que sea en el siglo XIX o en el XXI.

Al inicio de este epígrafe se planteaba que los cambios en la educación universal han de ser moderados, que la cultura es un ente demasiado inerte para modificarse por decreto, teorías o ideologías. No se puede borrar una generación sin que ello implique una hecatombe social. El único camino, por tanto, es el de la superación gradual y continua, pero insistiendo ante todo y por encima de todo, en la formación de los maestros del mañana. Ese tema se analizará más adelante.

5.7 ¿Necesita una selección de experimentos ejemplares?

Hay una inmensa lista de experimentos disponibles, bien sea en textos, como parte de la propaganda empresarial de las firmas fabricantes de software y hardware³⁶³ o en la web como parte integral del material de apoyo de casi todas las universidades del mundo. La mayor parte de la literatura que aborda el tema de qué experimentar, lo hace de forma ostensiva, a manera de Manual de Laboratorio. Como norma se presenta un largo listado de guías para experiencias. Literalmente se replican, como una especie de Torre de Babel en la que todo el mundo dice lo mismo – o casi lo

³⁶³ N. del A.: Estas referencias no pueden ser exhaustivas – ni se pretende que sean –. Se presentan sólo como indicadores de los tipos mencionados, excepción hecha de los materiales en línea de las diferentes Universidades.

Wilson, J.; Hernández, C. (2009): *Physics Laboratory Experiments* ISBN-13: 978-0618382590. Ed. Brook Cole. Boston.

Gil S.; Rodríguez E. (2002): *Física re-Creativa. Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*. ISBN: 978-987-9460-18-4. Editorial: Prentice Hall. Buenos Aires

Zbar, P.; Rockmaker, G.; Bates, D.; Ferrett, S. (1999): *Basic Electricity: A Text-Lab Manual*. ISBN10: 0078212758. McGraw-Hill. New York.

Bernard, C.; Epp, C. (1994): *Laboratory Experiments in College Physics*, 7th Edition ISBN: 978-0-471-00251-2 John Wiley & Son, Inc. Washington.

Berkeley Physics Laboratory (1964): *Laboratory Physics*. Ed McGraw-Hill Book Company. New York.

PHYWE (1999): *Laboratory Experiments. Phywe Systeme GmbH*. Editor: Dr. Ludolf von Alvensleben, Göttingen, Germany.

Cenco's Selective Experiments in Physics (SEP's) (1942-1975)
<http://www.sargentwelch.com/article.asp?ai=279>

Gastineau, J.; Appel, K.; Bakken, C.; Sorensen, R.; Vernier, D. (2000): *Physics with Calculators*. ISBN: 1-929075-05-7 Published by **Vernier Software & Technology**. Oregon

Hanks, A, Hanks, J. (1999): Manual de Instrucción y Guía de Experimentos para Sistema Básico de Dinámica. Modelos ME-9435A y ME-9429A de **Pasco Scientific**.

EyeThink Corporation: *Experiments from Team Labs. Free experiments for teachers and students*. <http://www.eyethinkcorp.com/resources/expmonth/expindex.asp>

Leybold Didactic (2001): Catalogue of Physics Experiments. Edited by Leybold Didactic GmbH. Germany.

3BScientif Products (2005): 3BScientif Products... going one step further. PHYSICS 2005. www.3bscientific.com

mismo – pero siempre de forma diferente. Puede pensarse en la vanidad de los humanos como explicación para esta reiteración sin sentido. ¿Por qué la UNESCO no universaliza los experimentos didácticos como universaliza los Objetivos del Milenio, las competencias básicas en Matemática o como proclama los Pilares de la Educación de Delors³⁶⁴? ¿Por qué, a pesar de la abundancia de literatura, esta no resulta tan útil o replicable como la de otras fuentes educativas?

Hay varias formas de explicarlo:

- a) Cada autor y cada manual está marcado por una tecnología educativa que es específica. Usan aparatos, instrumentos, sensores, programas informáticos provenientes de una o más casas comerciales. Si los docentes no tienen estas facilidades concretas, poco pueden hacer para salvar la experimentación específica propuesta. Esto hace que cada escuela haya de crear su propio conjunto. A esto se suma el problema ya analizado del eterno cambio tecnológico, de una mutabilidad que rebasa casi las posibilidades de los sistemas educativos para mantenerse actualizados. La física que experimentamos sigue siendo, en esencia, la misma que hace ciento cincuenta años, pero la tecnología de hace diez, ya es obsoleta.
- b) Los manuales comerciales intentan ser extensivos, *unitallas*, abarcar una rama completa de la ciencia, pero fallan en lo singular y particular de cada programa de estudio, en las competencias y singularidades de cada proyecto educativo. Son siempre, por tanto, esquemas que no se asientan en el desempeño docente específico.
- c) Hay en todos ellos un cierto olor a cocina. Experimento tras experimento, la larga lista recuerda los recetarios franceses en donde lo específico de los ingredientes, deja muy poco para la adaptabilidad. La experimentación se amarra demasiado al procedimiento, al equipamiento, al esquema fijo, negando de hecho la mutabilidad característica de la interacción sujeto-objeto. De la misma forma que desde el punto de vista culinario sería erróneo sustituir los champiñones por güisquiles, de esa forma sería erróneo intentar

³⁶⁴ Delors, J. (2003): *La educación encierra un tesoro*. UNESCO ISBN: 84-294-4978-7
Ed. Santillana Madrid

adaptar una metodología foránea a nuestras prácticas experimentales concretas.

¿Qué puede hacerse entonces para satisfacer nuestras necesidades? Adaptar, improvisar, innovar con aquellos recursos con que contemos. No hay limitación para el ingenio humano. Esa ha sido la máxima de los humanos desde que dejaron las estepas africanas. No puede en este intento hablarse de esquemas fijos, solo de sugerencias.

¿Qué sugerimos, qué nos ha dado resultado?

Sugerimos entonces:

- Balancear posibilidades y potencialidades para intentar salvar, con ingenio, las carencias materiales. Exigir a los administradores, desde la base de nuestros resultados, por modestos que éstos sean. El compadrazgo puede abrir las arcas, pero también el prestigio.
- Propiciar un clima de seguridad para las personas, el equipamiento y las instalaciones. Nunca resulta redundante insistir en este aspecto. Un accidente en la escuela es siempre una catástrofe. Hay en el laboratorio riesgos intrínsecos para los cuales debe estarse preparado. La previsión y seguimiento de estos riesgos, han de comenzar en el diseño, tanto de los locales como de la experiencia. Las normas de comportamiento muy bien establecidas, la sujeción a estas normas, las advertencias múltiples en tiempo, espacio y canales, el entrenamiento continuo y un sistema de control y monitoreo pueden reducir al mínimo las posibilidades de una contingencia fatal.
- Adaptar los recursos materiales para la experimentación de modo tal que en un mismo entorno físico, puedan crearse múltiples entornos de aprendizaje en dependencia del nivel, los objetivos, el tiempo y las competencias a lograr por los estudiantes.
- Centrar la atención en lo perdurable, insistir en los conceptos, las leyes y teorías más importantes, en lugar de enfocarnos en una tecnología que ya se sabe será obsoleta cuando llegue a nuestras aulas. Habrá que insistir en lo imperecedero, no en la tecnología transeúnte, en las leyes y principios de la

ciencia que de seguro han de conformar el sustento de la nueva tecnología, aun cuando no tengamos ni la más remota idea de cual ha de ser.

- Intentar vincular las experiencias con aquellas leyes y principios que constituyen los ejes temáticos del curso. Esto siempre dependerá de aquello con que disponga el colectivo de docentes, del curso propiamente dicho, de qué se persiga con la experiencia y del sano juicio y madura experiencia de estos profesores. Hay muchas, muchísimas razones para justificar una experiencia sobre el péndulo matemático. Todas son válidas excepto aquella que se apoya en el hecho de que “todo el mundo la hace”. Hay muchas, muchísimas razones para justificar la exclusión de una experiencia particular. Todas son válidas excepto aquella que se apoya en el hecho de que “eso nunca se aplica en el mercado”. Una vez más, el objetivo del diseño didáctico no está vinculado, por ejemplo, con que los jóvenes se preparen a vivir a expensas del experimento de Young de la doble rendija, sino de las exquisitas potencialidades formativas de este experimento. Hay diferencias notorias entre lo temporal- material y lo trascendental. A la escuela lo que es de la escuela, y al mercado lo que es del mercado.
- Evitar el abarrotamiento y congestionamiento de la actividad por la ambición de hacerla demasiado abarcadora. El exceso de tareas, la complejidad de las operaciones o bien las características propias del estudiantado en muchas ocasiones convierten la experiencia en una carrera contra el reloj.
- Enfatizar en aquellas técnicas y procedimientos de adquisición, procesamiento y presentación de datos que tienen un futuro garantizado porque no dependen de qué experimentos realizaremos, sino de la forma en la que los humanos seguiremos aprehendiendo la realidad a través de nuestros sentidos.
- Hacer de la Guía del laboratorio, en tanto el sistema tradicional tenga que ser mantenido, un material que si bien recoja los elementos algorítmicos de la práctica, sea también fresco, alegre, motivador y con dosis equilibradas de retos cognitivos.
- Potenciar el uso más efectivo del tiempo mediante la realización de materiales audiovisuales que faciliten la comprensión del principio de funcionamiento y operación de la técnica a emplear.

- Potenciar el uso más efectivo del tiempo mediante un uso intensivo de programas y herramientas de cálculo que permitan centrar la experiencia en lo sustancialmente cognitivo y no en el cálculo aritmético, la graficación manual o cualquier otra actividad cuyo desarrollo esté fuera de las competencias perseguidas.
- Reforzar, a priori o posteriori aquellos conceptos, relaciones y situaciones problemáticas abordadas en el experimento mediante simulaciones computacionales, nunca como reemplazo, sino complemento.
- Aprovechar el laboratorio como entorno para el análisis inquisitivo, las respuestas abiertas y el desarrollo del pensamiento libre.
- No temer el uso de experimentos cualitativos en el laboratorio. Muchas demostraciones de cátedra se ubican, visualizan y aprovechan mejor en el laboratorio que el salón tradicional.
- Propiciar una evaluación de lo experimental que sea continua en el tiempo, y específica y equilibrada en los objetivos propuestos.
- Combinar lo antiguo con lo moderno, reverenciar al tornillo tanto como al microchip, a la lente tanto como a la fibra óptica, hacer del legado experimental histórico de la ciencia motivo de reflexión, asombro y regocijo.
- Diseñar el entorno de modo tal que sólo mediante la colaboración pueda hacerse que funcione el ensamble, un apoyo forzado que de forma subliminal refuerce la necesidad de la colaboración grupal y social por encima de la independencia individual.
- Propiciar el uso de tecnologías que permitan hacer compartible e impeccedera la experiencia. Los estudiantes deben ser motivados a usar sus cámaras para obtener imágenes y videos que sustente la discusión posterior. Toda la data experimental puede ser enviada desde el laboratorio a otros recipientes de almacenamiento informático, de modo tal que los jóvenes no sólo puedan analizarlos y re-evaluarlos en sus casas, sino compartirlos con amigos y familiares. Los jóvenes son muy receptivos ante este tipo de estrategia.
- Ejemplificar el aspecto estético de la ciencia, las manifestaciones de lo bello de la teoría y del experimento cuando se conjugan de forma armónica.

- Hacer retornar continuamente lo experimental sobre si mismo, una reiteración que refuerce el implante de las habilidades y capacidades, experiencia tras experiencia, cada una diferente, pero al mismo tiempo, con un fuerte enlace interno.
- Poner tanto énfasis en el pensamiento y razonamiento abstracto como en las habilidades y destrezas manuales y corporales que engañosamente han sido relegadas por una sociedad que confunde las extremidades con las yemas de los dedos.
- Desarrollar en su justa importancia no sólo el análisis de la evidencia experimental y las múltiples técnicas y estrategias heurísticas sino también los adiestramientos básicos que conforman parte de las competencias que el mercado laboral ha de estar exigiendo.
- Aprovechar cada oportunidad para vincular la experimentación con la modelación matemática, la conversión de lo real en simbólico, la adecuación de lo imperfecto-voluble a lo perfecto-exacto y viceversa. Especial atención ha de ponerse en no convertir la matemática en un impedimento cognitivo para el nivel educativo con que esté trabajando.
- Hacer valer las posibilidades únicas del trabajo grupal para promover la comunicación, el dialogo, el entendimiento y la concertación que forman parte importante de la naturaleza de la ciencia.
- Explotar al máximo aquellas situaciones coyunturales que permitan ejemplificar la naturaleza de la ciencia.
- Emplear cada experiencia para fortalecer la comprensión de la relación de la ciencia con la tecnología, la naturaleza y la sociedad.
- Hacer del laboratorio, por modesto que sea, el lugar más pulcro y organizado de la escuela, una especie de santuario en la que nos vemos llenos de regocijo pero obligados a comportarnos con respeto y responsabilidad.
- Desarrollar un enfoque sinéctico en el que lo sencillo pueda verse en toda su complejidad y lo complejo se haga sencillo. Lo trivial como motivo de asombro y el milagro como causa de risa.
- Romper con todo modelo único de aprendizaje preestablecido, aprovechar lo mejor o más oportuno del conductismo, el cognitivismo, el constructivismo,

en sus variantes empíricas o racionales. Sólo una sólida preparación académica en cuanto a ciencia, tecnología y pedagogía puede conferir una base estable para el desarrollo de esta tarea siempre incompleta, siempre sujeta a ajustes y variaciones.

- Aprovechar cada oportunidad para crear situaciones problemáticas, tanto teóricas como experimental. Tan válido es resolver una aparente contradicción entre el comportamiento del sistema físico con la teoría que la sustenta, como hallar la forma instrumental de medir de forma adecuada, con la tecnología disponible, aquella variable de interés de la que depende el experimento.

Sugerimos, en suma, desarrollar las capacidades y habilidades de interacción con la realidad, empleando la tecnología de nuestros tiempos, para promover nuevas formas de experimentación y de aprendizaje significativo. Es de la experimentación, esa forma básica de aprendizaje y enseñanza de la ciencia, de la que dependerá la forma en que obtendremos, validaremos, comunicaremos y emplearemos los nuevos conocimientos.

Quien espere en educación un elixir mágico que remedie todos nuestros males, morirá esperando. No puede esperarse en educación – y menos en la experimental – esa respuesta predictiva más o menos segura, ese camino único y trillado que nos salve del error. Cientos son lo que ofrecen o pretenden obtener de la ciencia educativa, desde posturas parciales, esa fuerte capacidad predictiva. Pero las leyes de la educación nunca serán como las leyes de la física y la química. Eso sería asumir un enfoque positivista de la educación. La educación es ciencia, pero también arte. Luego, han de evitarse los absolutismos, evitar seguir al pie de la letra cualquier tendencia educativa en boga; evitar hacer de las ideas ideologías, y de las ideologías dogmas. Las palabras de orden deben ser integración, adaptación y búsqueda de lo holístico. Ha de optarse, adoptarse, adaptarse e integrarse en

dependencia de las circunstancias.³⁶⁵ Si alguna vez llegaran a separarse esa ciencia y ese arte educativo, una disección de nuestros cerebros hallaría no carbono, sino silicio y germanio.

³⁶⁵ N. del A.: ¿Qué piensan los científicos de la Ciencia de la Educación?

Son el autoengaño de los teóricos y la credulidad de la humanidad, las fuentes del mal prestigio que la educación suele tener, como doctrina, dentro del resto de la comunidad académica científica. Si la teoría es efectiva, entonces debería rendir resultados prácticos. Richard Feynman decía que para hacer ciencia “el primer principio es que uno no debe engañarse a sí mismo – y uno mismo es la persona más fácil de engañar”. De Feynman es también el siguiente párrafo que debería presidir todo debate educativo en aras de la modestia y el sentido común:

“Descubrí de este modo cosas en las que todavía cree más gente, como por ejemplo, que tenemos conocimientos sobre el problema de cómo enseñar y educar. Hay grandes escuelas pedagógicas que propugnan determinados métodos de enseñanza de la lectura, o de enseñanza de las matemáticas, y así sucesivamente; pero si uno se fija, observará que las calificaciones de nuestros escolares en lectura siguen disminuyendo – o al menos, no aumentando – a pesar de estar continuamente recurriendo a estas mismas personas para mejorar los métodos. He aquí un remedio de brujo que no funciona. Debería ser examinado a fondo... Teoría hay mucha; progresos, ninguno.”

Los educadores debemos admitir que nuestra teoría es siempre general y nunca específica, válida pero no siempre útil, objetiva más nunca predictiva. Ni la intencionalidad y ni la necesidad de saber, nos deben hacer caer en el autoengaño.

Feynman, R. (1975): *Adorar a los aviones*. Lección inaugural del curso 1975-76 en Caltech, Pasadena, California.

5.8 El proyecto experimental integrador.

Para aprender las formas más complejas de abstracción y de pensamiento sistémico, es necesario aprender a experimentar. Comprender causas y consecuencias, explorar diferentes posibilidades de solución a un mismo problema son, desde este punto de vista, exigencias indispensables. Pero la experimentación tiene otra consecuencia importante: los estudiantes aprenden a aceptar la responsabilidad de su propio aprendizaje, cualidad necesaria para desempeños que exigen la reconversión permanente.

Juan Carlos Tedesco.

El «aprendizaje basado en proyectos» es una forma de enseñanza problémica. Como estrategia centrada en el estudiante –y con múltiples nombres –, se ha empleado en aplicada a la historia y la literatura, pero también a la Biología y la Matemática.

Los proyectos, aquellos “deberes largos”, se han desarrollado tanto de forma individual como colectiva pero siempre con una singularidad: el tiempo y esfuerzo que requieren para su ejecución son grandes, de modo tal que los estudiantes han de trabajarlos intensamente por semanas y meses. Tiempo y esfuerzo conjugados, ese poder rumiar y madurar el proyecto, es quizás la razón para su mayor fortaleza en la retención a largo plazo³⁶⁶.

El enfoque de proyectos está vinculado al movimiento educacional progresista de Dewey a finales del siglo XIX. Con base en Dewey, W. H. Kilpatrick desarrolla la praxis de esta forma centrado en la realidad social del entorno, aplicando un enfoque multidisciplinario. Posner plantea, refiriéndose a los fundamentos epistémicos del enfoque de proyectos, que:

“Dewey vio que los conceptos en la mente y las experiencias en el mundo tenían una relación interactiva, es decir, uno modifica constantemente al otro. De acuerdo con este enfoque, las buenas ideas son aquellas que iluminan la experiencia y las buenas

³⁶⁶ N. del A.: Si hemos tenido la suerte de haber contado con una buena educación primaria y secundaria, seguramente recordaremos nuestros proyectos; aunque en aquel entonces sólo se le llamaran tareas largas. Los herbolarios y las taxidermias, los resúmenes ilustrados a mano del Robinson Crusoe de Defoe, las grandes plantillas de dibujo; los legos de mil piezas, esos eran proyectos. No hay casi nada nuevo bajo el Sol de la Educación.

experiencias son aquellas que ayudan a una persona a ensayar ideas. Este proceso interactivo contribuye al crecimiento del conocimiento y de la persona”³⁶⁷

El reforzamiento de las tendencias de corte eminentemente constructivista de finales del siglo pasado, junto con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, han fortalecido esta estrategia haciéndola mucho más ambiciosa, variada y realista en cuanto a temas y propósitos.

5.8.1 Caracterización del aprendizaje basado en proyectos. Ventajas y desventajas.

Intentando una definición de esta forma del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), Thomas, Mergendoller y Michaelson, concluyen:

“Los proyectos son tareas complejas, basadas en preguntas difíciles o problemas, que involucran a los estudiantes en el diseño, resolución de problemas, toma de decisiones, o actividades de investigación, dando a los estudiantes la oportunidad de trabajar de forma relativamente autónoma durante largos períodos de tiempo, culminando con productos reales o presentaciones.”³⁶⁸

Perfilar más finamente esta definición lleva a Thomas a plantear cinco criterios que debe poseer la estrategia para que pueda clasificarse como un ABP: centralidad, tema conductor, investigación constructiva, autonomía y realismo.

³⁶⁷ Posner, G. (1998): *Análisis de Currículo*. ISBN: 958-600-891-6. Ed. McGraw-Hill. Colombia.

³⁶⁸ N. del A.: El Dr. John W. Thomas realiza una muy amplia revisión de los fundamentos y características de la enseñanza basada en proyectos.
Thomas, J. W. (2000): *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation. San Rafael, CA

- 1- El centralismo implica que el proyecto es el centro, no la periferia del currículo. El currículo *es* el proyecto. Este criterio invalida aquellas actividades que se adosan o complementan a una enseñanza tradicional o que pueden entenderse como proyectos de “enriquecimiento.”³⁶⁹
- 2- Se centra en un tema o problema “semilla”, una idea central del que se deriva y alrededor del cual se aglutina todo el trabajo. El tema deberá ser desarrollado para establecer una conexión entre las actividades y el conocimiento conceptual subyacente de una o más disciplinas.
- 3- La investigación es una acción que involucra a los estudiantes en el aprendizaje. Este es un proceso de investigación guiada que, para que pueda ser considerada ABP debe ser constructiva y transformadora del conocimiento. Si las actividades centrales del proyecto no representan un verdadero reto para el estudiante o pueden desarrollarse sólo con el conocimiento adquirido, el proyecto es un ejercicio más, no una estrategia de ABP. Limpiar calles es un proyecto social, pero no constituye una estrategia de ABP. En este sentido la estrategia ABP coincide con la enseñanza basada en problemas.
- 4- La autonomía se fundamenta en una independencia significativa del trabajo de los estudiantes. El maestro facilita, pero no dirige. Las prácticas de laboratorio, los ejercicios de un texto quedan excluidos de esta estrategia. La conclusión del proyecto no puede ser encasillada o conocida de antemano. No puede haber pregerminación ni de la meta ni de los procedimientos. Se exige trabajar sin supervisión directa sobre intervalos mucho más prolongados.
- 5- El realismo diferencia a la ABP de la enseñanza tradicional. El resultado y la evaluación son auténticos. Allí pueden ponerse ejemplos que pueden o no relacionarse con la realidad concreta en la que viven los estudiantes. La ABP incorpora características que brindan una sensación de autenticidad a los estudiantes, acá el foco es un problema auténtico, no simulado.

³⁶⁹ N. del A.: El subrayado es nuestro. Persigue mostrar, como se analizará más adelante, que en un curso tradicional, no se podría emplear la estrategia de ABP.

Westwood³⁷⁰ resume las ventajas y desventajas de esta estrategia:

Ventajas del aprendizaje basado en proyectos

- Puede aplicarse a casi todas las áreas del currículo.
- Permiten orientarse hacia la realidad, promoviendo el aprendizaje significativo mediante la interconexión de la nueva con la vieja información
- Los estudiantes aprenden procesos y habilidades para obtener y analizar la data.
- Los estudiantes son más responsables de su propio aprendizaje, lo que promueve la auto-dirección y la motivación.
- Se promueven los diversos modos de comunicación y de representación.
- Alienta el uso del pensamiento de orden superior, así como la adquisición de evidencias.
- Promueve un desarrollo más profundo de la asignatura.
- Aumenta el trabajo en equipo y habilidades de aprendizaje cooperativo

Dificultades del aprendizaje por proyectos

- No todos los estudiantes poseen la madurez individual, y las competencias técnicas y sociales para un desempeño adecuado.
- En algunos casos, la participación puede ser destacada y emotiva, pero al final la experiencia puede contribuir muy poco al aprendizaje
- Cuando los proyectos implican la elaboración de carteles, maquetas, gráficos, grabaciones, fotografías e informes electrónicos, existe el peligro de que sólo se trate de una “vitrina” que esconda una investigación débil y poco profunda.
- Cuando las tareas se distribuyen entre los integrantes del equipo, y éstas se desarrollan de forma individual, existe el peligro de que los miembros individuales nunca obtengan realmente una comprensión global del tema.

³⁷⁰ Westwood, P (2008): *What teachers need to know about teaching methods*. ISBN: 9780864319128. Ed. ACER Press. Victoria, Australia

Desarrollar un curso de ciencias en el primer año de la universidad con la estrategia de Aprendizaje Basada en Proyectos es un reto gigantesco. Pretender hacerlo en el campo experimental parece una locura. Aun más. De acuerdo con estos preceptos teóricos sólo podrá emplearse, por fuerza definitoria, el propio proyecto como fundamento de aprendizaje del curso. El proyecto *es* el curso. ¿Cómo comenzar una enseñanza de este tipo si no conocemos a los estudiantes, si no sabemos si podrán estar a la altura de las circunstancias para soportar la carga de responsabilidad, madurez y consistencia que se requiere? ¿Cómo poder asegurar que cuentan con las herramientas teóricas y prácticas necesarias para tales tareas? Al fin y al cabo, a nuestras universidades no llegan masas filtradas y decantadas como las que pueblan las de MIT, Harvard o Stanford.

Los retos parecen insalvables. A menos que... ... rechacemos estas posturas dogmáticas y reduccionistas e improvisemos tomando lo mejor de esta forma de aprendizaje. Aunque protesten los teóricos. La teoría educativa debe emplearse para abrir nuevas brechas, no para enclaustrarla. Pero antes de analizar nuestra propuesta, nos detendremos en otro aspecto imprescindible para su desarrollo: la interdisciplinariedad.

5.8.2 Currículo discreto vs currículo integrado. ¿Cómo superar las barreras de las disciplinas³⁷¹?

En las escuelas de la Antigüedad los filósofos aspiraban a impartir sabiduría; en nuestros modernos colegios nuestro propósito es más humilde: enseñar materias.

Alfred Whitehead

Como se sabe, la división del currículo en asignaturas obedece a razones históricas. A partir del Cuadrivium pitagórico – aritmética, astronomía, geometría y música –, se le suma en el medioevo el Trivium – gramática, retórica y dialéctica. Con esto, ¿para qué más? El Progreso³⁷² y la disciplina han venido de la mano. Es el nuevo pensamiento progresista quien mantiene la especialización y da sentido a la creciente subespecialización dentro de la disciplina.

Ravetz³⁷³ considera que esta forma de presentar la ciencia es consecuencia de la necesidad renacentista y posterior influencia que científicos y filósofos de la talla de Galileo, Copérnico y Descartes, experimentaron al trabajar en las fronteras de un conocimiento que restringía las ramas del saber de su tiempo, e intentar establecer una forma de pensar sobre la base de relaciones causales. Las disciplinas surgen entonces como un primer germen para desarrollar el estudio de la filosofía, la ciencia y las humanidades, pero el final del siglo XIX presencia el surgimiento y la independencia de otras muchas subdisciplinas en cada una de las ramas del saber. Cada disciplina establecía diferentes formas de operar, desarrolladas con claras diferencias en los estilos, los temas, las teorías, la literatura, los lugares

³⁷¹ N. del A.: Se usarán indistintamente, en su contexto educativo, los términos disciplina, asignatura y materia

³⁷² Thompson, J. (1990): *Interdisciplinarity: History, Theory and Practice*, Detroit: Wayne State University Press, 1990: 21, discussed in Ingrid Leman Stefanovic *Challenging Traditional Academic Borders through Interdisciplinarity*, Limina: Thresholds and Borders, A St. Michael's College Symposium, Joseph Goering, Francesco Guardiani, Giulio Silano eds., Ottawa: Legas, 2005:197.

³⁷³ Ravetz, J. (2005): *No-nonsense Guide to Science*, London: New Internationalist Publications & Verso, 2005:26-27.

institucionales, la escala de análisis e incluso su pertinencia política. De las jergas se pasó a los idiomas, de las tradiciones, a las culturas específicas, de la diversidad al conflicto. El vulcanólogo no entiende al geotermista, el geriatra y el genetista describen de forma totalmente diferente a un mismo caso de mal de Parkinson.

Hay en ello una necesidad fundamentada de análisis, esa descomposición del todo en partes para estudiar su estructura y función. La creciente magnitud y complejidad del conocimiento fue dando lugar a subdivisiones y combinaciones que proliferaron hasta esa selva disciplinaria con que hoy contamos. En sus construcciones sobre ciencia, matemáticas y filosofía, se desarrolló lo que Leman Stefanovic³⁷⁴ describe como "una epistemología lineal, que busca relaciones causales entre las entidades o conceptos bien delimitados". Para construir efectivamente un banco de conocimientos "dentro de la disciplina" *el objeto de la investigación* tenía que ser desmontado, y encasillado. Cada nuevo estudio promovía una nueva comprensión sobre cómo debería ser clasificado el nuevo conocimiento en una taxonomía cada vez más compleja que – en el proceso – iba creando nuevas y muchas disciplinas, cada una con sus propias categorías, nombres, funciones y prácticas.

La educación replica el pensamiento científico y se estructura en un curriculum que pasa del *quadrivium* a una infinita suma de disciplinas en dependencia de la especialidad, su enfoque y siempre creciente complejidad. Las asignaturas conforman parte inequívoca de cualquier *pensum* universitario. Su lógica, su carácter orgánico, su eficiencia para abordar grandes volúmenes de información, pero sobre todo los siglos de experiencia y experimentación, han convertido la asignatura en piedra angular del andamiaje educativo.

¿Qué ocurriría si por decreto se proscriben las asignaturas en la educación superior? Toda la organización, administración, validación y control del proceso ocurre a través de esta categoría. Claro que no todas las asignaturas son igualmente importantes. Están las duras, las que importan. Y están las ligeras solo de relleno

³⁷⁴ Leman Stefanovic, I. (2005): *Challenging Traditional Academic Borders through Interdisciplinarity*, Limina: Thresholds and Borders, A St. Michael's College Symposium, Joseph Goering, Francesco Guardiniani, Giulio Silano eds., Ottawa: Legas, 2005:197.

para poder satisfacer los requerimientos de humanistas y sociólogos... pero son tan poco importantes que nadie las reprueba. Allí, de relleno, están los lenguajes, la ética, la moral y los valores. La asignatura conlleva al profesor, un especialista que sabe, dicta y dictamina. Los estudiantes escuchan, copian y resuelven los ejercicios de un texto impreso. Van a un lugar a experimentar, pero sobre la puerta ven escrito el nombre de la asignatura: laboratorio de Biología, laboratorio de Física, laboratorio de Química... laboratorio de Petrología, laboratorio de Resistencia de Materiales. Los profesores se hacen centrales o planetarios en dependencia de cuán dura sea su especialidad. Mientras más duras, más créditos académicos, mayor prestigio social y mayores emolumentos. Ese ha sido por siglos, y sigue siendo, el esquema operativo del currículo universitario ¿Alguien hablaba de tendencias constructivistas?

Por supuesto que si algo hay en las Universidades, son mujeres y hombres inteligentes que entienden que esa parcialización y atomización de la enseñanza y el aprendizaje, poco aportan al megaobjetivo de educar para ser, hacer, educar, convivir y sobrevivir. La atomización no sólo se manifiesta en las asignaturas, que son los jamelgos, sino en los profesores que las cabalgan. En la educación superior de Nuestra América, no siempre está presente esa convivencia tan fructífera que se llama Vida Universitaria. En todas, pero en especial en el sector educativo privado, es frecuente la figura del profesor horario, una especie de taxista que transita de centro en centro y que, por tanto, tiene muy poca oportunidad de conocer a sus colegas de otras asignaturas. Claro que existen los ejes transversales. Un día el profesor de estadística deja un deber sobre la pobreza y el de física otro sobre el calentamiento global, aclarando siempre que son los químicos los responsables por sus gases de invernadero. Cada uno por su lado, lo importante es cabalgar.

El más grave problema práctico de las disciplinas, es que ha marginado la síntesis, el componente orgánico que retorna las partes al todo. Se supone que el joven integre de forma automática. Analizar y sintetizar, en el sentido de separar las partes, de descubrir patrones internos de regularidad, de permitir inducir las leyes de conservación, y rearmar las partes en un todo superado, puede que sea natural desde las primeras etapas de la niñez, pero como habilidad, capacidad y competencia debe ser promovida y desarrollada a lo largo de toda la vida.

Los estudiantes son los que cargan con la peor parte; primero porque reciben el todo fraccionado, segundo, porque son los chivos expiatorios del sistema al no poder concretar e integrar aquello que luego se requiere. Largas cadenas de quejas se escuchan por doquier: no saben microprocesadores, porque no saben electrónica, no saben electrónica, porque no saben física, no saben física por que no saben matemática, no saben matemática porque no saben aritmética... ¡qué juventud más perdida!

La educación ha de encarar el reto por un retorno a multidisciplinariedad³⁷⁵. Edgar Morin indica desde el punto de vista epistémico la necesidad imperiosa de transformar esa fragmentación ridícula en pensamiento complejo:

“Yo diría que el pensamiento complejo es ante todo un pensamiento que relaciona. Es el significado más cercano del término *complexus* – lo que está tejido en conjunto –. Esto quiere decir que en oposición al modo de pensar tradicional, que divide el campo de los conocimientos en disciplinas atrincheradas y clasificadas, el pensamiento complejo es un modo de religación. Está pues contra el aislamiento de los objetos de conocimiento; reponiéndoles en su contexto, y de ser posible en la globalidad a la que pertenecen.”³⁷⁶

Claro que existen los currícula integral³⁷⁷, activo y experiencial. Allí surgen las categorías de interés que reemplazan las categorías del contenido, los núcleos integrales de materias en donde las disciplinas a veces permanecen separadas y otras se integran. Como norma son sólo experimentos fugaces, primero por romper la tradición, segundo porque requieren un profesorado polivalente capaz de exhibir

³⁷⁵ Beilin, R. (2007): *Of Boundaries and Borders creating a culture of Integration rather than assimilation*. The University of Melbourne. Address to the Deputy Vice Chancellor Academic Summit September, 2007

³⁷⁶ Morin E. (2004): *Entrevista en París con Edgar Morin*. Interlocutor Nelson Vallejo Gómez. En <http://www.segciencias.com.ar/pensamiento.htm>

³⁷⁷ Taba, H. (1974): *Elaboración del currículum*. Ed. Troquel, Buenos Aires.

experticia en cinética planetaria, envejecimiento de polímeros y teorías endógenas sobre la vida.

La acción racionalizada indica que debe cambiarse esta práctica que fragmenta y constriñe, que basándose en ese pensamiento racional e independiente que es el motor del mundo, Atlas³⁷⁸ debe rebelarse.

Pero en la práctica Atlas no puede con el mundo. Integrar es ser rebelde y ningún rebelde integracionista ha sobrevivido. Gimeno Sacristan lo explica en estos términos:

“Pretender alterar la estructura actual de las disciplinas y sus consecuencias en la enseñanza supones cuestionar todo el funcionamiento de las instituciones donde el saber legitimado por antonomasia se produce... En el sistema educativo, cualquier otra perspectiva que contrarreste la especialización dominante no tendrá fácil entrada... Apostar en la educación... por un currículo de cultura integradora es situarse, por tanto, en una perspectiva de resistencia...”³⁷⁹

Una vez más, la historia y la teoría indican hacia el quietismo.

A menos que... *Siguiendo y manteniendo* la estructura tradicional de las disciplinas, se implemente *dentro* del currículo algún tipo de actividad paralela, y experiencial de largo plazo que aúne a estudiantes y estudiantes, profesores y profesores, estudiantes y profesores, una actividad que enseñe, exija y promueva tanto teoría como práctica, que enseñe, exija y promueva aplicar las ciencias naturales y la matemática, la informática y la programación, el desarrollo y control personal, la

³⁷⁸ N. del A.: Se hace referencia al libro de Ayn Rand, *La rebelión de Atlas* (Atlas Shrugged) Rand, A. (2004): *La Rebelión de Atlas*. ISBN 9872095132 Editorial: Grito Sagrado Madrid.

³⁷⁹ Gimeno Sacristán, J.; Gómez, J. (1997): *Comprender y transformar la enseñanza*. Colección Pedagogía. ISBN 8471123738 Ediciones Morata. Madrid

comunicación en todas sus formas, el cabildeo y la interacción social. Ese es nuestro proyecto integrador, un modelo viable para cambiar sin revolucionar o para revolucionar sin cambios. Claro que habrá detractores, escépticos que vaticinen monstruos deformes, pero las otras opciones son la anarquía o el no hacer nada.

5.8.3 Proyectos integradores: Un modelo viable.

Los proyectos científicos, tal y como se han desarrollado para esta Tesis, son trabajos desarrollados por estudiantes de recién ingreso a carreras de ingenierías durante el transcurso del primer año. Esta experiencia didáctica se ha ido desarrollando, de forma sistémica, durante más de diez años, no siempre con el mismo nivel de logro, pero sí con un creciente nivel de pertenencia. La esencia misma del proyecto es la experimentación y su carácter multidisciplinario. A partir de un tema que sirve como idea central, los equipos deberán construir uno o más sistemas experimentales en donde se concreten las leyes de la Física, la Matemática y la Informática. Es imprescindible la modelación de la física y matemática, es imprescindible el uso intensivo de las computadoras y sus lenguajes, es imprescindible que todas ellas se acoplen de manera armónica y orgánica en el experimento.

Los jóvenes de recién ingreso a la Universidad generalmente tienen aficiones y preferencias pero es extraño que posean una marcada inclinación o conocimiento por un tópico específico de las ciencias básicas. De hecho muchos de ellos han recibido sólo un – o en ocasiones ningún – curso de Física. Menor es el porcentaje de aquellos que han recibido algún entrenamiento experimental. (**Anexo 2**) Si a ello se suma el desconocimiento que los catedráticos tienen de los estudiantes y el de ellos mismos entre sí, es fácil entender por qué se decidió tras algunos ensayos, comenzar a todo lo largo del primer semestre, con una etapa inductiva, de investigación guiada, que bien pudiera denominarse como de **entrenamiento y adaptación**. Durante el primer semestre se desarrollan varios miniproyectos con una duración máxima de dos semanas. Estas experiencias están diseñadas de modo tal que cada grupo posee múltiples formas de acercamiento al objetivo elegido. Una descripción general del miniproyectos incluiría:

- a) Facilitar a todos los estudiantes, vía web, materiales de lectura y referencias que permiten fundamentar apropiadamente el marco teórico, referirse a su historia y desarrollo, las aplicaciones a la tecnología y la naturaleza.
- b) Presentar videoclips con pasos concretos y específicos para su ejecución, medidas de seguridad y el manejo de los programas ofimáticos que se emplearán en el procesamiento de la data y la modelación matemática de los mismos. Toda esta información se sitúa, una vez más, en el sitio web de la universidad de modo tal que se garantiza la asequibilidad a todos y en cualquier momento. Desde el punto de vista de la preparación, hasta aquí el miniproyecto se comporta como una *webquest*,^{380 381} esto es, se prioriza en el uso adecuado de la información, no en su búsqueda, pero con la particularidad de que el objetivo no es dar respuesta a un problema teórico sino experimental. Lo importante no es presentar la información en forma de reporte, lo importante es emplearla de forma efectiva para la consecución del prototipo.
- c) En ningún caso trabajarán con las poderosas y específicas herramientas de *software* y *hardware* del laboratorio. Los miniproyectos no son prácticas formales, sino prototipos experimentales que deben construirse fuera de de las instalaciones universitarias. Salvo uno de estos miniproyectos, se ha preferido que estos estén relacionados con las temáticas asociadas al curso de Física de ese semestre, aunque excluyendo las experiencias del laboratorio. Se ha evitando también que el miniproyecto haya sido pormenorizado como ejemplo o ejercicio en las clases la teóricas.
- d) Un prototipo del ensemble terminado y funcional, que puede ser observado y manipulado *in situ*, puede ser consultado en los locales de la Universidad. Persigue vencer cualquier confusión sobre los mecanismos de funcionamiento, brindar una aproximación tridimensional y palpable, *real*, de aquello que debe ser reproducido.

³⁸⁰ Bernie, D. *Webquest*. <http://webquest.org/index.php>

³⁸¹ Education World. *Meet Bernie Dodge: The Frank Lloyd Wright of Learning Environments*. Updated 01/07/2009.
http://www.educationworld.com/a_issues/chat/chat015.shtml

- e) A la par de toda esta alimentación, los grupos reciben asesorías personalizadas para que puedan resolver las dudas que le resulten necesarias. Reciben además asesoría concreta sobre las herramientas de trabajo manual.
- f) Esta fase no es competitiva y todos los estudiantes realizan los mismos proyectos al mismo tiempo. Se promueve la máxima colaboración entre los estudiantes que pueden intercambiar ideas e información por cualquier canal, incluyendo las redes sociales.
- g) Algunas leves diferencias son exigidas entre los proyectos, más para evitar el plagio y el fraude que como verdaderos retos cognitivos (se modifican materiales, variables y parámetros que hacen único cada proyecto, pero sin cambiar lo cualitativo del mismo)
- h) Cada miniproyecto tiene objetivos muy bien definidos en cuanto a:
- Materiales y herramientas que deben utilizarse.
 - Destrezas y manualidades.
 - Instrumentos, sensores y dispositivos.
 - Software específico.
 - Modelación física y matemática.
 - Formatos en los que los resultados de la experimentación serán presentados.
 - Características del debate y conclusiones finales.
- Todos han sido concebidos, para garantizar una asequibilidad que no implique mayores dificultades materiales o económicas.
- i) Los estudiantes cuentan con una rúbrica estándar que permite comprender cómo y de qué forma será evaluado.

En estos miniproyectos, como podrá apreciarse hay muy poco dejado al azar, a aquella componente desconocida que caracteriza toda verdadera investigación. Nuestros miniproyectos están más cerca a lo tecnológico que a lo científico, una tecnología que cuenta con un magnífico *know how* y con *asesores* de primera línea. ¿No es esto acaso una incitación a la burda imitación mecánica, al simple recetario de cocina? ¿Cómo puede pretenderse desarrollar una educación científica y significativa a partir de esta estrategia obsoleta y proscrita?

No debemos temer a la palabra imitación. Imitando aprendemos el significado de los primeros símbolos, aprendemos a hablar y socializar. La imitación y aquello en donde está lo que ha de imitarse – el contexto social – son los dos aspectos de la “zona de desarrollo próximo” de Vigotsky³⁸². Pero hay además una diferencia particular. La imitación a este nivel, sólo puede ser reflexiva porque está condicionada al criterio de la práctica: las cosas deben ser convenientemente fundamentadas y deben funcionar. Bandura³⁸³ ha pormenorizado en los humanos el mecanismo de esta imitación activa, esto es, cuando entre la observación y la imitación intervienen estos factores cognitivos que permiten a los humanos adquirir destrezas y conductas de modo operante e instrumental. Tedesco³⁸⁴ cita a Berger y Luckman sobre el papel de la imitación, la formación de la identidad personal y la identidad autoimpuesta de la socialización temprana. Si la familia se repliega en esta función no vemos razón alguna para que la escuela – incluyendo la superior – no lo haga.

La imitación es la base de la ingeniería inversa que ha permitido el desarrollo espectacular de las grandes economías asiáticas, sólo mediante la imitación activa de

³⁸² N. del A.: Claro que Vigotsky escribió esto para niños, pero ¿qué hay de malo en ayudar a un adolescente evitando que al aprender sangre? En una conferencia en la Universidad de Santiago de Compostela, Miguel Zabalza Beraza, el autor de *Competencias docentes del profesorado universitario: calidad y desarrollo profesional*, respalda nuestro punto de vista al señalar:

“No sé si cometo una herejía pedagógica, pero yo diría que se puede aplicar a la enseñanza universitaria el mismo concepto de “zona de desarrollo próximo” que Vigotski aplicó a la educación de los niños pequeños. Lo que la universidad y los profesores universitarios podemos dar a nuestros estudiantes es ese plus de aprendizaje y desarrollo formativo que ellos no podrían adquirir por sí solos. No se trata de sustituir su propio protagonismo en el aprendizaje sino de optimizar su capacidad. Con nosotros van a poder hacer cosas que no podrían hacer, harían peor o tardarían más en lograr por ellos solos. Eso es justamente lo que justifica nuestra actuación como docentes y el punto que centra nuestros compromisos.”

Tomado de Zabalza M. *¿Podemos hablar de una docencia universitaria de calidad? Una propuesta de criterios para la mejora de nuestra enseñanza universitaria*. Universidad de Santiago de Compostela.

<http://www.pucmm.edu.do/RSTA/Academico/TE/Documents/iu/duc.pdf>

³⁸³ Bandura, A. (1977): *Social learning theory*. ISBN: 0138167516. Prentice Hall. Ohio.

³⁸⁴ Tedesco, J. (1999): *El Nuevo Pacto Educativo*. ISBN: 84-207-6613-5. Grupo Anaya, S. A. Madrid.

ensayos y error adquirimos las capacidades motrices y operativas que tanto propugnan las competencias educativas. Antes de interpretar al piano, antes de componer, el artista ha de repetir hasta el cansancio el *do re mi*. No debemos temer a las palabras repetición e imitación.^{385 386}

Los miniproyectos, además de permitir el desarrollo de estas capacidades ejecutorias y de adiestramiento, permiten mantener un compás de espera que permita el conocimiento del entorno social universitario inmediato, y a la par, como señalaba Richard Feynman, dar tiempo a esa maduración tan extraordinaria que tiene lugar en los primeros años de la Universidad.

5.8.4 Proyecto Científico Galileo.

En el segundo semestre los proyectos cambian notoriamente. Aumenta el nivel de independencia, no hay modelos a imitar de forma mecánica, se prolonga el plazo de ejecución, cada proyecto es único, se aumenta el nivel de exigencia grupal, se introduce el elemento competitivo, se crean sistemas de premios extraordinarios, desaparecen las rúbricas específicas y se exige no sólo ejecución sino creatividad a la forma de abordar y resolver las tareas. Claro que la investigación sigue siendo

³⁸⁵ N. del A.: Las leyes conductuales de Edward Lee Thorndike, abandonadas tras el avance del constructivismo, fueron las operantes de un gran avance en la psicopedagogía de comienzos del siglo XX. Para Thorndike, el aprendizaje animal – y luego humano – debía estar condicionado por:

La ley de la necesidad: la motivación es la fuerza motriz para que el sujeto realice la conducta.

La ley de la repetición: el sujeto debe poder repetir la secuencia conductual un determinado número de veces.

La ley del efecto: el sucesos respuesta de la conducta debe propiciar satisfacción o placer al sujeto

Thorndike, E. Connectionism. <http://tip.psychology.org/thorn.html>

³⁸⁶ N. del A.: Imitación y descubrimiento, significancia y mecanicismo son conceptos antagónicos en las modernas teorías educativas constructivistas, pero aprendemos y fijamos imitando y repitiendo. Esto todos lo sabemos, pero necesitamos de un teórico como Robert Gagné que explicita que “la repetición de conceptos aprendidos es un medio probado y verdadero para ayudar a la retención”, para que nos sintamos más tranquilos. Seguimos llenos de dudas, seguimos siendo “hombres de poca fe”.

Gagné, R. (1979): *Las condiciones del aprendizaje*. ISBN 968-25-0271-3
Nueva Editorial Interamericana, México.

guiada, pero ahora aparece con más intensidad bajo una forma que pudiera denominarse como *investigación estructurada*. Esta segunda etapa cuenta con la ventaja del conocimiento mutuo, ellos se conocen, nos conocen y los conocemos. Por desgracia o por fortuna, aquellos que llegan a la Universidad sin entereza y ambición, han decantado en un proceso de reubicación o deserción.

La Otorgación:

Todo proyecto parte de una semilla cuya elección, adecuación y presentación, son responsabilidad del profesor. Claro que esta norma no es inflexible y en muchos casos el tema puede ser negociado a solicitud del grupo de estudiantes en dependencia de intereses, habilidades, o destrezas específicas vinculados con el equipo o con la especialidad de la carrera que cursen. La teoría indica que esa debería ser la norma, pero la experiencia muestra lo contrario: a este nivel tan básico, es preciso “sembrar el tema”. La analogía con la semilla no es casual. Existe una probabilidad finita de que se llene con tierra fértil una maceta, se riegue sistemáticamente y crezca en ella el maíz frondoso. Pero la probabilidad de que casualmente la tierra contenga un grano fértil es muy baja, así que la siembra es un paso crucial para la cosecha. La elección y adecuación del tema es importante porque es el primer y más importante soporte para la acción durante todo el proyecto. No basta con la elección y asignación de un tema general y vago. Los grandes fracasos educativos tienen lugar cuando se le pide a un grupo de alumnos, por ejemplo, investigar sobre la energía. El tema es tan amplio, tan rico y al unísono tan complejo y exotérico que ningún grupo ha de encontrar esa pista conductal para ir dando cuerpo a una idea. El tema asignado lleva una serie de *tips* no escritos, ocultos en el lenguaje verbal. No hay que llamarse a engaños. Esta etapa es definitivamente conductivista, pero de la experiencia y sagacidad con la que el profesor aborde y vaya asignando tareas puede surgir la ilusión, por parte del grupo de estudiantes, de que son ellos los que realmente tienen las riendas en sus manos. La ilusión lo es todo en la componente afectiva del proyecto. Este contrapunto entre constructivismo y conductismo, entre realidad e ilusión requieren del profesor no sólo conocimiento y destreza, sino fina sutileza y también, cierta dosis de teatralidad.

La Conexión: En esta fase inicial se pretende desarrollar la empatía cognitiva mínima del grupo con el tema. A los integrantes del equipo se les pide buscar información procesarla, presentarla y exponerla de modo tal que se garantice un mínimo aceptable de comprensión sobre el tema. Desaparece la estructura de *webquest* y el trabajo se hace más arduo al tener que realizar búsquedas mucho más independientes. No puede haber curiosidad genuina y duradera sin esta comprensión que crea puentes entre el nivel de conocimientos real de los integrantes y el nuevo conocimiento. Es en esta etapa en donde surgen la curiosidad fundamentada, las pre-hipótesis, las primeras propuestas sobre métodos, variables, materiales y recursos. Es también un excelente momento para recrear lo epistémico de la investigación como continuo humano. Nunca partimos de cero.

Punto de mención especial requiere el uso y abuso de la información en línea. Dos tendencias marcadamente nocivas se presentan en esta fase: aquellas búsquedas que terminan en trabajos cuyo nivel excede con mucho la comprensión de los estudiantes, o la seudociencia que casi inunda los medios de comunicación. En el primer caso, cuando se selecciona información muy por encima de su nivel, los jóvenes pueden desanimarse ante un muro de teoría que parece inabordable o pueden intentar pasar gato por liebre recurriendo al facilismo del *copy paste*. En el segundo caso, los estudiantes terminan enredándose en la información frívola, Son ejemplos un último reporte sobre los avances de la fusión fría, en una revista de cosméticos brasileña o las pruebas “científicas” sobre la visión de naves extraterrestres en www.ovnis.com.mx/. Ambos casos son, a la postre, frustrantes. Pero de este no saber aquilatar nuestras propias competencias, de estos intentos manidos de plagio, de estos riesgos informativos siempre presentes en la web, pueden extraerse oportunidades únicas para enseñar cómo usar la duda cartesiana y el análisis crítico representativos del genuino espíritu científico. Como en la vida, será el tutor el que permita enseñar que no todo lo que brilla es oro, y que a menudo, hasta en los lugares más pulcros crecen las malas hierbas.

El tiempo asignado a esta etapa debe ser el adecuado para el nivel, complejidad y extensión de la tarea. En la práctica, el proceso tienen mucho de zigzag, de dialéctica, y la primera presentación puede que de lugar a una segunda y tercera. A

los estudiantes se les pide entonces utilizar este conocimiento para crear o perfeccionar las preguntas a investigar.

El Diseño:

El Diseño del experimento requiere el planteamiento de las preguntas que supuestamente deberán ser contestadas, los modelos físicos y matemáticos que supuestamente han de emplearse, las variables experimentales, los instrumentos, la forma en que se procesarán, cuáles preguntas tienen sentido y cuáles no. Un buen diseño debe contemplar el germen del resto del proyecto garantizando un mínimo de correspondencia entre los problemas – las preguntas comprobables sobre el mundo que se han de experimentar – y la generación de datos de calidad de cuya evaluación saldrán las conclusiones del trabajo.

Es una etapa compleja en la que los estudiantes deben comenzar a pensar con mayor independencia, objetividad y sentido crítico, un pensar científico que casi siempre está asociado con angustia y frustración en la medida que el cordón umbilical con el profesor se estira y retuerce. Es acá donde aparecen las súplicas – a veces verdaderos reclamos – para que, de forma precisa, se les diga qué debe y qué no debe hacerse, cuál es el resultado esperado, dónde está el plano para hacer el montaje experimental y otras preguntas por el estilo. En nuestra experiencia, se solicita una primera fase en donde se concretan estas ideas en una maqueta. Allí no necesariamente habrá mediciones u observaciones directas, pero la presencia y tridimensionalidad de los artefactos representados van creando en el grupo la necesidad de esos hábitos de la mente científica como la observación de los detalles, las proporciones y dimensiones del ensemble, la lógica de los planteamientos y la comprensión de lo que pudiera o no resultar útil.

Muy delicado en esta etapa es hacer entender cómo vincular el diseño con el futuro procesamiento de la información, cuándo un argumento puede considerarse evidencia física o simple voluntarismo científico, qué puede o no contestar la ciencia.

Se amarran allí también los hábitos sociales que – como en pocas otras estrategias educativas – se ponen aquí de manifiesto. Hay que trabajar en equipo, compulsando

la colaboración, la responsabilidad, el liderazgo, la disciplina que emana ya no del profesor sino del grupo. La ayuda tierna y fraudulenta al compañero haragán, generalmente termina con fuertes compulsiones a la acción e incluso peticiones de exclusión.

La experimentación: Es esta la etapa crucial del proyecto, aquí donde se concreta la esencia de la ciencia y donde, desafortunadamente, ocurren las mayores frustraciones desde el punto de vista educativo. En el contexto de los proyectos descritos en esta Tesis se ha impuesto en la praxis una norma inflexible, que bien pudiera ser juzgada de reduccionista y positivista, pero que acá se justifica por la naturaleza de las carreras que siguen estos jóvenes: sin observaciones, sin mediciones, sin una aproximación directa al fenómeno de estudio no hay proyecto que pueda ser considerado exitoso. La experimentación aboca a lo jóvenes a un mundo en donde el esfuerzo no siempre es recompensado, en donde las cosas no siempre salen bien, en donde muy frecuentemente hay que repetir una y otra vez las cosas o incluso borrar todo y empezar de nuevo. Se requiere de mucha presencia y entusiasmo, de ingenio y versatilidad, de sentido de adaptación e improvisación, pero TENACIDAD es la palabra de orden.

Otros factores de comportamiento grupal se hacen notorios de forma muy marcada en esta etapa. Los problemas de actitud y aptitud, de liderazgo y pasividad, de intolerancia y humildad, de entusiasmo y frustración, están siempre presentes en esta etapa. Como en el caso de la vida, son muchos los elementos que pueden dar al traste con la buena intención y pocos, muy pocos, los que pueden mantener el proyecto a flote si falta la constancia. Entre estos últimos está la mirada atenta del profesor, siempre listo para estimular el logro más pequeño, para compulsar a los rezagados, para desatascar de forma muy velada e impersonal el problema sin el menor ánimo de protagonismo.

Hay aquí una diferencia muy notoria entre esta investigación y la verdadera investigación científica en el sentido absoluto de la palabra. En la educación de la ciencia, principalmente en sus primeras etapas, hay muy poco de esta investigación. Ya se ha planteado que la ciencia básica que se enseña en la escuela siempre es, por

fuerza mayor, ciencia hecha, de texto y paradigmática, de modo tal que como norma, el docente experimentado debe estar en capacidad de resolver la enorme mayoría de aquellos “escollos insalvables” para los estudiantes. A veces hay sustos de infarto, pero la creación de una “comunidad de asesores” – titulados o estudiantes, técnicos o artesanos – con diferentes capacidades, formaciones y enfoques puede ser de gran utilidad en estos casos. Esta es otro tipo de integración. Por integración generalmente entendemos el enfoque sistémico y multidisciplinario, pero esta integración es integración humana, integración de seres con fortalezas diferentes y aunados en el proyecto.

La dialéctica del desarrollo de la investigación científica hace que muchos proyectos se reorienten en esta etapa, bien sea por dificultades insalvables para los recursos, conocimientos y tiempos disponibles o porque, en el buscar haciendo, aparecen detalles tan sorprendentes, resultados tan remarcables que bien vale la pena abandonar la línea inicial y reorientar todo el proyecto. Esta decisión generalmente es tomada por los asesores, y “sutilmente sugerida” al equipo.

El Análisis:

La fase experimental, adornada con lentes y microprocesadores, con cables y poleas, termina con un manojito de fotos, videos y datos que deberán ser recopilados, ordenados, analizados, procesados y presentados justa y adecuadamente para presentar la síntesis del proyecto. La comprensión de todo este proceso se facilita y enriquece con el uso de la modelación matemática, el análisis de las limitaciones paradigmáticas impuestas al desarrollo del proyecto y la tecnología de procesamiento informático de la data. Es este el momento en donde lo interdisciplinar se manifiesta con mayor fuerza y el estudiante se percata que la división en disciplinas y asignaturas, es sólo una formalidad curricular que termina cuando comienza la experiencia vital.

La Defensa:

Bien sea por ese carácter nuestro tan rico en pasiones y tardanzas – ese mal hábito latino de dejar todo para el último momento – o por la concreción que siempre se da en las etapas finales, las últimas cuatro semanas son las más fructíferas de todo el proyecto. Allí se pulen los detalles, se rehace en una noche lo que antes no se

conseguía en una semana. Para los grupos es angustioso, para los docentes una primavera en flor. Comienzan los manipuleos para intentar estar dentro de los mejores grupos, por intentar captar la atención no sólo a fuerza de ciencia sino de cabildeo. Esta es una etapa que reproduce con bastante plenitud lo social en la comunidad científica, pero que desafortunadamente no siempre se emplea para mostrar la naturaleza mertoniana de la ciencia. En ello posiblemente incide la pasión y ansiedad del momento. Una buena estrategia es filmar estos comportamientos y estudiarlos a posteriori, una vez que el evento ha terminado y se han enfriado los ánimos.

En la víspera del día del Concurso, quince grupos finalistas pasan a una semifinal en donde todos los equipos comparten una gran sala presentando cada proyecto en forma de *stand*. El centro es siempre el prototipo experimental que ha permitido llevar a cabo la experimentación. Todos tratan de captar la atención del público y de contestar las preguntas libres que se le hacen. Generalmente se emplean varias computadoras para mostrar cómo las interfaces diseñadas y construidas son capaces de tomar datos en tiempo real, para enseñar los resultados numéricos y sus compendios gráficos, para ver en acción el software de procesamientos o para resaltar, mediante cámaras web, aquellos detalles que sólo un individuo cercano pudiera observar. Las pancartas y carteles son más escasos, casi decorativos. Frecuentemente aparecen en ellos las ecuaciones que compendian la teoría.

Un tribunal selecciona diez de estos quince proyectos para el evento final, el **Concurso Científico Galileo**³⁸⁷. El jurado está integrado por doce profesionales de alta experiencia en distintos campos de la ingenierías y que previamente han sido identificados con los objetivos y competencias del evento. Cada equipo, seleccionado en forma aleatoria para su turno de presentación, tiene diez minutos para exponer sus premisas, objetivos, hipótesis y resultados experimentales y cinco para contestar las preguntas del jurado y el público.

³⁸⁷ N. del A.: Para más detalles sobre el Concurso Científico Galileo véase el **Apéndice 2: Proyectos científicos ejecutables por alumnos de primer año de las Carreras de Ingeniería. Bases, objetivos y características.** Departamento de Física de la Universidad Galileo. Ciudad Guatemala. 2005

En este tiempo son varios los objetivos que cada uno de los equipos desea dejar manifiestos:

- a) Se intenta enfatizar el desarrollo histórico del tema, los personajes célebres involucrados, la importancia tecnológica, la relevancia social contemporánea para la nación, la región y el mundo. No sin marcada intención, aparecen recurrencias en la prosa que recurren a energías renovables, calentamiento global, salud para todos, mejora de la calidad de vida y otros latiguillos.
- b) Se muestra cómo funciona realmente el artefacto, dejar evidencias de la participación de cada uno de los integrantes del grupo, mostrar fotos, videos y evidencias que al correr en múltiples pantallas, van mostrando las distintas etapas del proyecto, sus logros y fracasos. El fin es lograr mostrar la dinámica no lineal del desarrollo y por aparte, mostrar que no haya dudas sobre la objetividad, autoría y participación activa de cada integrante. Siempre hay más de una historia que, entre dramática y divertida, sirve a los integrantes para testimoniar el carácter contradictoriamente dialéctico y no uniforme del desarrollo de la investigación.
- c) Se indican las características del software, la modelación matemática, el diseño de las interfaces computacionales y cómo se logran engranar en el proyecto, de forma armónica, las distintas ciencias básicas.

En honor a la verdad, no son comunes ni las preguntas, ni las alusiones a la naturaleza de la ciencia. Lo técnico y lo operativo priman sobre lo epistemológico, que llega de forma casi subliminal. La calificación de cada miembro de este jurado, teniendo en cuenta los principales objetivos del evento y el desempeño de cada equipo, es personal y secreta. Ninguno de los asesores o profesores activos interviene en la selección de los proyectores finalistas. El autor de esta Tesis reconoce con dolor que en muchas ocasiones lo vistoso de una demostración, la presencia de los expositores o sus galas oratorias, hacen que un trabajo de mérito sea relegado sobre otros de menor valía. Hubo un año, con un trabajo desarrollado por estudiantes de Ingeniería en Sistemas titulado “Cinética del crecimiento del maíz y

variables que lo propician” que perfectamente podía ser publicado como ejemplo de logro consumado. El grupo modificó variables tales como la exposición solar, el riego y los nutrientes; desarrolló sensores para automatizar toda este espectro de variables, programó el software de análisis y recopilación, llevo durante meses un minucioso diario del crecimiento en las distintas réplicas, halló con acierto el modelado matemático de estas cinéticas, resaltó la importancia histórica, económica y cultural del cultivo para la región y el mundo. No llegó ni a un tercer lugar.

Dos conclusiones pueden extraerse de estas decisiones: la primera, la tremenda calidad intrínseca³⁸⁸ de muchos de estos proyectos que en muchas ocasiones atraen la atención de la prensa local como si fueran resultados de academia y no de

³⁸⁸ N. del A.: De la Vida Real. Sólo para propiciar la comprensión dimensional de estos debates nos permitiremos indicar los tres trabajos finalistas de aquel año:

El primer lugar correspondió al proyecto “Medidas remotas de parámetros vitales: ciencia tecnología y compromiso social”. Estos jóvenes lograron desarrollar sensores muy básicos, pero operativos, que podía captar la temperatura, el pulso y el ritmo respiratorio de un paciente. Toda esta información era luego digitalizada y transmitida por teléfono hacia un centro de control remoto en donde aparecía desplegada y registrada en una computadora para el diagnóstico oportuno de un especialista. Los integrantes del equipo lograban así establecer un método para poner a pacientes en centros remotos de salud en contacto directo con expertos distantes al costo de una llamada telefónica. Un proyecto en donde la tecnología y la ciencia abordan lo social afianzadas en la esperanza de llevar salud y cuidado médico hasta el último rincón del planeta

El segundo lugar fue dado al proyecto “Eratóstenes en el siglo XXI”, una recreación moderna del famoso experimento del siglo III a. C. que logró determinar la longitud del meridiano terrestre. Una enorme maqueta de un corte terrestre permitía entender la esencia de la hipótesis de Eratóstenes y recrear a escala las diferencias de las sombras. Además de la modelación, el uso de la geometría, y el análisis de errores, el proyecto captó la atención por la originalidad de aprovechar las nuevas técnicas de información y comunicación para realizar, simultáneamente, lecturas de sombras en ciudades distantes pero casi sobre un mismo meridiano. Jóvenes guatemaltecos coordinaban, en vivo, a otros jóvenes de latitudes lejanas para medir con simples reglas plásticas el tamaño del planeta.

El tercer lugar, “Sobre la verificación de la aceleración centrípeta”, de corte más ingenieril, era un proyecto en donde la informática, la modelación matemática y la tecnología, se ensamblaban de una forma exquisita en un prototipo que resolvía de forma adecuada todos los problemas experimentales para determinar – mediante sensores acoplados a una computadora – el radio y la velocidad angular en un doble péndulo cónico de rapidez variable. La historia de la ciencia se recreaba así desde Newton hasta los satélites geoestacionarios.

Con tales cosechas queda claro por qué no resulta fácil elegir cuáles son los mejores.

cuasiniños que no llevan un año en las aulas universitarias, la segunda, el carácter cruel y contradictorio de muchas decisiones humanas.

Algunos críticos de estas competencias insinúan que es enorme la carga traumática para los que no llegan a concretar satisfactoriamente los proyectos y terrible para los que, habiéndolo logrado, son víctimas de erróneas apreciaciones humanas o de que la mala fortuna haga que se arruine un sensor justo a la hora de la exposición. Estos críticos son partidarios de algo más comunal, en donde se premie la participación y no los resultados, algo más próximo a la educación primaria o especial. Con todo lo inhumano de las malas decisiones, estos opositores no tienen en cuenta que son estas condiciones extremas las que hace aflorar lo mejor y lo peor de las potencialidades de nuestra naturaleza humana, y que la discriminación por logros y competencias será un continuo acontecer en cada uno de estos jóvenes durante el resto de su vida social, laboral y científica. El hecho de que el mundo pueda ser cruel, también debe ser objeto de enseñanza, so pena de engendrar sietemesinos de carácter.

Varios casos singulares se han presentado en el transcurso de los años en donde lo empírico espectacular ha intentado corromper el espíritu científico de estos proyectos. En el año 2000, un montaje sobre levitación electromagnética por activación pulsátil, concretaba una serie de indicaciones de una página web de forma tal que una pequeña esfera levitaba debajo de un electroimán invertido. Pero más allá de las pericias y habilidades del montaje, más allá de lo espléndido de la propia levitación, el grupo nunca logró despegar del contexto empírico.

En 2006 un equipo montó tres lentes en un tubo intentando apoyarse en lo significativo y trascendente del telescopio de Galileo. No había mediciones ni cálculos ni teoría implicada. Curiosamente, ocurrió justo lo mismo que con el caso de Galileo, quien al no dominar la óptica, llegaba a sus instrumentos por ensayo y

error, haciendo que la mayoría de ellos no funcionaran bien³⁸⁹. Para Galileo, el telescopio no era la ciencia, sino sólo un instrumento para la ciencia. Otro caso, tristemente resaltable en este sentido, tuvo lugar en 2006, con un equipo que recreó, en una maqueta de tamaño casi natural, el sistema de iluminación de un automóvil moderno. El carro era precioso y las luces titilaban por doquier, pero no había ciencia, sólo pirotecnia. La ciencia nunca puede confundirse con la feria del mercado. La esfera de Herón era un juguete, no una máquina térmica con fundamento científico.

En suma, el proyecto experimental integrador es una propuesta factible de ser desarrollada en nuestros centros de educación superior y extendible, bajo modificaciones más de rigor que de forma, a otros niveles educativos de Nuestra América. El desarrollo durante años de estos trabajos, ha sido a su vez, un verdadero ejemplo de enseñanza basada en proyecto didáctico. En honor a la verdad – no hubo en el inicio de este movimiento experimental, una intencionalidad teórica didáctica expresa. Fueron las experiencias las que motivaron ideas, las ideas resultantes las que promovieron las búsquedas de la teoría, una teoría que modificó las ideas prácticas y enriqueció la experiencia. Ha sido, como sugería Hilda Taba, un insuflar teoría a la práctica.

El desarrollo de estos proyectos, desde el punto de vista curricular, es un ejemplo de currículo ascendente, un pequeño concepto que se propone, cultiva y madura desde la base hasta la dirección. Decenas de profesionales, de decenas de especialidades, ayudaron a darle forma, decenas siguen contribuyendo a su desarrollo continuo. No hay ningún logro estrictamente personal del autor, salvo el de servir de escribano. Un proyecto didáctico de esta magnitud sólo puede ser posible con el apoyo fuerte y sostenido de la administración. Mención muy especial debe ser hecha a la dirección de la Universidad Galileo y en especial al Dr. Eduardo Suger Cofiño, rector de la misma.

³⁸⁹ N. del A.: “Galileo reconoció en marzo de 1610 que, entre más de 60 telescopios que había construido, solamente algunos eran adecuados. Numerosos testimonios, incluido el de Kepler, confirman la mediocridad de los primeros instrumentos” La cita aparece en, http://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

5.9 El papel del magisterio.

Periodista: Si pudiera cambiar una sola cosa de Guatemala, ¿qué sería?

Eduardo Suger: La educación. De inmediato. Hacer la reforma educativa que aquí ni ha iniciado ni se ha comprendido qué hay que hacer. Es necesaria la preparación continua. La dignificación del magisterio, para darle calidad de vida al maestro. Es urgente.³⁹⁰

A lo largo de esta Tesis, una y otra vez se ha concluido en la necesidad de un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. La enseñanza aprendizaje centrada en el alumno no implica que se niegue el papel protagónico que la figura del maestro ha tenido y tendrá dentro del proceso.

5.9.1 Escuelas y tendencias en la formación profesional de docentes: Unidad, sistematicidad y complejidad.

Mucho se habla de las competencias que requiere este magisterio y muchas las escuelas teóricas que han intentado moldear su formación en el siglo pasado. Gimeno y Gómez³⁹¹ resumen y desglosan los estudios de Kirk sobre el papel del maestro y sus perspectivas ideológicas. Allí aparece el enfoque tradicional, que concibe la enseñanza como un proceso artesanal – o artístico – y al maestro como un artesano; el enfoque tecnocrático en donde la enseñanza es un proceso técnico, y el maestro es un tecnólogo; el enfoque radical, en la que la enseñanza es una actividad crítica, y el maestro es un ser autónomo que investiga y reflexiona sobre su práctica. Gómez ahonda luego en perspectivas básicas que priman la formación y destrezas en componentes académica, técnica, práctica o de reconstrucción social. Cada uno de estos enfoques y perspectivas son generalmente disgregados, y al final criticados en tanto pasan de moda, en tanto la vida demuestra la eterna zaga del maestro – salvo muy notorias excepciones – con respecto al avance de los tiempos.

³⁹⁰ Suger, E. (2009): *Sólo la educación nos transformará*. Prensa Libre septiembre 23 de 2009. <http://www.prensalibre.com/pl/2009/septiembre/23/343472.html>

³⁹¹ Gimeno Sacristán, J.; Gómez, J. (1997): *Comprender y transformar la enseñanza*. Colección Pedagogía. ISBN 8471123738 Ediciones Morata. Madrid.

Una vez más, el análisis queda soltero al excluir la síntesis. El maestro es un ser humano, una unidad en la que han de concretarse y conciliarse, en mayor o menor medida, todas estas pertinencias. Es el enfoque sistémico el que se requiere al intentar sintetizar ese sistema al que llamamos maestro. Edgar Morin lo plantea en los siguientes términos:

“Todo sistema integra y organiza la diversidad en una unidad. Todo sistema nace, bien sea de una necesidad que se diferencia, bien sea de una diferencia que se unifica”³⁹²

Una vez más, lo que falta es la noción de equilibrio. Es cierto que es censurable la visión del maestro como enciclopedista. No se trata de convertir en enciclopedista a cada profesor, aunque no habría nada deplorable en ello. Se trata de la simple competencia que todo maestro debe poseer: un conocimiento profundo de las especialidades propias y de aquellas, que siendo ajenas, sean precisas para su desempeño. Si la enseñanza es cultura, la enseñanza es ante todo transmisión de conocimientos y ejemplo de sabiduría. Por tanto ha de saber quien enseña y ser sabio quien sirve de ejemplo. No se trata de absolutizar al maestro en artesano, aunque ningún maestro es maestro sin su propio arte. De lo se trata es de no negar la impronta de cuatro siglos de estudios sobre el aprendizaje y la educación, de lo que se trata es de evitar caer, otra vez más, en la falacia burda: “Si la educación no puede describirse con leyes rígidas, lo que impera en ella es la anarquía creativa del artista. A enseñar se aprende dando clases³⁹³”. Estos son los absolutismos deformadores. No se trata tampoco de convertir al maestro en tecnólogo, pero poco quedaría del proceso educativo si excluimos de él la planificación, el diseño estratégico, el control técnico. Extraño ha de verse un maestro sin los recursos de las nuevas

³⁹² Morin, E. (1983). *El método II. La vida de la vida*. Ediciones Cátedra, S.A. Madrid.

³⁹³ N. del A.: A veces se obvia lo pedagógico. En la educación superior tecnológica, generalmente la carrera docente comienza de la forma que acabamos de describir. La tesis deweyana de “aprender haciendo” se deforma en un empirismo singularmente descabellado. «Hállate a ti mismo como comunicador, ten paciencia, ya irás progresando... todos hemos pasado y hecho lo mismo... aquí lo importante es que sepas de qué estás hablando» De esta forma se genera y preserva culturalmente la tesis de que no vale la pena preocuparse por lo educativo.

tecnologías. Muy difícil la comparación e investigación educativa si no dispone el maestro de esa componente.

El maestro ha de saber³⁹⁴. El eminente pedagogo cubano Alfredo M. Aguayo, decía que “un maestro debe saber como diez para enseñar como uno”. El maestro ha de poder; poder comunicar no sólo con el arte congénito, sino con el cultivado, no sólo con el arte sino con aquellos componentes de la ciencia educativa que conforman parte de la metateoría didáctica y de su praxis. El maestro ha de querer. Sin compromiso propio ante su obligación, el maestro se convierte en simple sirviente. Como norma, quien enseña, lo hace por amor. Es tanto el esfuerzo exigido, tanta la constancia, tan pobre la remuneración, tan bajo el estatus que la sociedad actual confiere, que sólo el amor explica que aún haya Maestros. El maestro, desde el enciclopédico al comprensivo, ha de ser un ser humano integral, con fino sentido de presencia histórica y social, esa capacidad reflexiva para decidir y emitir decisiones a la que suele llamarse ubicuidad.

Las peculiaridades del maestro como profesional capacitado, capaz, y comprometido para provocar y facilitar la experiencia educativa se reducen a esto: saber, poder y querer. Esta Tesis, por su especificidad, ha estado más enfocada en los dos primeros verbos, pero el tercero, el querer, es imprescindible. Atenta ha de estar la sociedad contra los maestros que, tras otros intereses, incumplan el precepto de querer enseñar.

Por tradición más que por objetividad, cada una de las materias, tiene su dinámica propia. Tan crítica y comprometida debe ser la enseñanza de la física como de la

³⁹⁴ N. del A.: A veces se obvia el saber. En Nuestra América, siempre sedienta de profesores, muchas veces se acepta como maestro a aquel que esté disponible. Luego aparecen los problemas de titulación y alrededor de él, la lucha de sindicato y asesores ministeriales, como si el pergamino fuera *la* solución. Tras el intento de remediar los males, muchas instituciones universitarias han creado planes de titulación para aquellos profesores no titulados que puedan exhibir constancia laboral por más de cinco años en el magisterio. Allá se les capacita luego en las leyes de la didáctica. Loable empeño sin lugar a dudas, pero en el intento se infiere como resuelto este primer requisito de saber, se confunde experiencia con un repicar mecánico de la misma campanita. La titulación debe ser integral y congruente con aquellas complejas competencias a las que hacemos referencia.

historia. Pero sea cual fuere la causa, las huellas que deja la formación particular de la disciplina, marcan algunas diferencias puntuales entre los profesores de ciencia y el resto del profesorado, diferencias que no son, insistimos, de fondo sino particulares.

Esta Tesis ha sido dirigida a mostrar que no basta con saber las leyes de la naturaleza y comprobarlas sobre la mesa de un laboratorio. El maestro de ciencias tiene que ser capaz de comprender y transmitir aquellos fundamentos epistemológicos que hacen de la ciencia algo muy humano, perfectible y circunstancial, tremendamente poderoso como herramienta cognitiva y como herramienta transformadora, pero potencialmente fatal para todo el género humano. El maestro de ciencia ha de ser capaz de mostrar, desde la ciencia hecha y paradigmática, la otra ciencia incierta y relativista; ha de mostrar que el vaso puede verse medio lleno o medio vacío, que la ciencia está inmersa en un relativismo gnoseológico en cuanto es hecha y aceptada por humanos, pero regular, imperecedero, útil y bella como acervo cultural. Dicen Floden y Bauchman:

“[El profesor...] Debe transmitir al alumno tanto la incertidumbre de los procesos de búsqueda como la utilidad y provisionalidad de los resultados de la investigación humana. Para ello, el docente se formará en la estructura epistemológica de su disciplina... así como en la historia y la filosofía de la ciencia.”³⁹⁵

El maestro de ciencia ha de ver la experimentación como interface entre los dos mundos, el subjetivo cargado de humanidad, y el real material. Enseñar ciencia sin experimentación es como enseñar historia sin pasado ni presente, como enseñar ortografía sin letras.

5.9.2 Del dicho al hecho. ¿Por qué los profesores aún no son proactivos ante la experimentación docente?

Los cambios hacia el paradigma constructivista dentro del magisterio y el surgimiento de las nuevas TICs no han sido sinónimos de cambio educativo radical. La palabra que se escucha por doquier es crisis. No basta con que una junta directiva

³⁹⁵ Citado por Gimeno Sacristán, J.; Gómez, J. (1997): Op. Cit.

decida invertir en locales y su sistema de seguridad especialmente dotado, que adquiera el equipamiento experimental, que disponga de técnicos y auxiliares para atender toda la logística, que disponga de tiempo en los planes para que profesores y técnicos preparen todo el tinglado. Aún falta que ese factor humano esté capacitado y motivado para no regresar toda esta tecnología a lo que realmente es: materia muerta. Sin un profesor convenientemente entrenado, colaborativo y motivado, sin un clima académico que favorezca el desarrollo de la improvisación y la búsqueda perenne de nuevos quehaceres didácticos, sin un profesor en el que la originalidad sea exigencia cotidiana, todo esta perdido. El esfuerzo se vuelca en saco roto.

Muchas encuestas indican que hay un amplio consenso entre los maestros de ciencia sobre las bondades de la experimentación – en cualquiera de sus formas – como una de las técnicas más efectivas de enseñanza. La contradicción aparece cuando se constata que es una minoría de este mismo profesorado el que aplica la máxima. Al respecto Weiss señala:

“El ochenta por ciento de los profesores de ciencias de *high school* opinan que las clases de ciencias basadas en la experimentación, son más efectivas que las basadas en las conferencias y tradicionales. Pero sólo el cuarenta por ciento de ellos indicaron que habían utilizado la técnica en sus clases más recientes.”³⁹⁶

¿Qué factores objetivos y subjetivos pueden estar involucrados en tal desacuerdo? Aquí la lista puede ser muy larga, generalmente teniendo como premisa las preocupaciones sobre el costo, el tiempo, los recursos de espacio y la seguridad que estos experimentos exigen. Muchos de estos aspectos y sus posibles alternativas ya han sido sugeridos y evaluados en esta Tesis. De todo este análisis se ha excluido al profesor que teniendo los recursos y la capacitación decide irse por el camino más corto y seguro de la enseñanza escolástica y panfletesca, ese famoso teorema del menor esfuerzo, aplicable a aquellos que sabiendo y pudiendo, optan por una

³⁹⁶ Weiss, I. (1987): *Report of the 1985-86 National Survey of Science and Mathematics Education*. (Research Triangle Park, NC Research Triangle Institute. Citado en U.S. Congress, Office of Technology Assessment, (1988): *Elementary and Secondary Education for Science and Engineering-A Technical Memorandum*, OTA-TM-SET-41 Washington.

indolencia que no es meritoria del título de Maestro. Es obligación de la administración velar por el control de tales flagelos.

El verdadero nuevo paradigma ha de estar en potenciar la formación y consolidación continua de un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Ahora veremos el aspecto sociocultural que generalmente se supedita o sencillamente se ignora. No son de segunda categoría las consideraciones sobre lo histórico social. Los humanos aprendemos básicamente por observación e imitación, y por ensayo y error. Si la imitación es uno de los procesos primarios de aprendizaje en los humanos, no es de extrañar que los curriculistas y profesores consideren sustituible o innecesaria una experimentación que personalmente nunca disfrutaron.

Un colega contaba una historia real. En un programa especial se intentaba que los profesores de sexto grado de primaria abordaran algunos conceptos básicos de la física; estática, cinemática, principio de Arquímedes... entonces uno de los profesores allí presentes expresó su pesar y frustración con respecto al Principio de Arquímedes porque sabía que el resultado sería un fracaso, sabía que sus alumnos nunca podrían despejar las variables de las ecuaciones. Es triste comprender como mucho de nuestro profesorado ve en la ciencia un mecanismo tipo *input-output* y nada más. Triste entender que nuestro profesorado desaprovecha la impronta enorme del experimento. Un balde con agua, una tabla y unas cuentas piedras. Canoas, barcos, supertanquero... un Ludión³⁹⁷ de Descartes, submarinos y vejigas natatorias... Aún en su forma cualitativa, ¡cuanta poesía, cuanta ciencia hecha verso!

Consideramos que el verdadero reto no está en llevar la nueva experimentación a la educación superior, sino inculcarla y hacerla parte de la educación toda, desde la educación primaria hasta la preuniversitaria y técnica. Por eso es que nuestro primer pensamiento debe ir dirigido hacia las escuelas formadoras de maestros y en especial

³⁹⁷ N. del A.: René Descartes diseñó el "Ludión" en su forma original. Ludión de lúdico. Sólo se requiere una botella plástica y un bolígrafo viejo para mostrar como los peces – y cualquiera de los muchos dispositivos submarinos – pueden controlar su profundidad. Una forma bella de traer de vuelta a la vida a Arquímedes. No es la ausencia de recursos, precisamente, lo que bloquea el desarrollo de nuestros niños.

a su claustro. La ruptura definitiva de estos sesgos y deformaciones, ocurrirá cuando los nuevos docentes reciban una educación científica que contemple los fundamentos epistémicos y la experimentación como parte integral de su formación sistémica. Las autoridades educativas han de poner aquí el primer énfasis, propiciando el desarrollo de los propios formadores de maestros así como los recursos mínimos necesarios para su puesta en práctica. Esta es la única forma de romper el círculo vicioso.

El segundo frente de ataque, mucho más ambicioso y extenso, debe estar asociado a una alfabetización de lo experimental dentro del profesorado vigente. La baja calificación y cualificación de un magisterio descuidado a su propia suerte, muy frecuentemente no certificado, genera a veces situaciones insolubles a menos que se revierta la primera condición. Cuando en cualquier sector de la sociedad la tecnología o los cambios político-culturales hacen inadecuada u obsoleta una profesión, la respuesta es jubilación forzosa. Así ha ocurrido por ejemplo, con los militares, un sector cuyo número y funciones se modificó drásticamente con los procesos de pacificación en Nuestra América. Pero intentar esto con el magisterio sería una locura. No puede jubilarse a maestros incapacitados porque eso sería suicidar a toda una generación, no puede jubilarse a maestros como se jubila a telegrafistas o carteros. No puede esperarse a que una nueva generación de maestros, convenientemente preparados satisfaga nuestras demandas dentro de diez años.

La única salida sensata es educar y reeducar a nuestro magisterio, a sabiendas que el proceso será duro y prolongado, a sabiendas que no rendirá réditos a una administración pública en particular, porque llevará lustros. Olmedo España señala:

“... la tarea central consiste en el trazado de un proyecto educativo que nos permita colectivamente una visión de nación, a fin de superar el hecho de que cada cuatro años se reinventa lo inventado, muestra palpable de una educación sin rumbo ni orientación de largo aliento.”³⁹⁸

³⁹⁸ España, O. (2007): *Educación y entorno social en Democracia y Educación. Ensayos*. Colección Cuadernos de Docencia. Óscadel. S. A. Guatemala.

Se necesita algo más que una reforma, se necesita un Plan País para la Educación. El camino largo se comienza con un paso. Los Ministerios de Educación de Nuestra América deben potenciar, cuando menos, la creación de centros experimentales, por puntuales que sean, en donde el profesorado tenga contacto con las nuevas formas de experimentación, debe potenciar la realización de proyectos escolares, comunales y regionales en donde niños y adolescentes se involucren en una ciencia de interés local, pero también aquella trascendente ajena a sus necesidades cotidianas.

A medio siglo de distancia, éste es el clamor, el ruego, la exigencia de los hombres que han de regir Nuestra America en 2061.

5.10 A manera de Epílogo.

Esta tesis ha intentado relacionar la ciencia y su enseñanza a partir del concepto central de experimentación. Sendos capítulos se han enfocado en la Naturaleza de la Ciencia, La enseñanza de la Ciencia y la Experimentación Didáctica. Intentar racionalizar la enseñanza de la ciencia conduce, inevitablemente, a una doble epistemología: la de la propia ciencia – inmersa ya en más de un siglo de revolución kuhneana – y la de la propia teoría educativa, jerarquizada, modelada e incluso negada. Las causas de esta doble crisis convergen en el derrumbe de la concepción heredada positivista que afectó toda forma racional de entender la teoría y la práctica. Desde supuestos fundacionalistas, científicos, filósofos y educadores, intentaron siempre dirimir el curso de la historia y sus criterios de verdad a partir de categorías *a priori*. Hay en ello una cultura milenaria atrincherada en las obras de Platón, Descartes, Hume, Kant. En búsqueda de certezas, el fundacionalismo termina convirtiendo nuestras teorías en dogmas.

Tras los grandes misterios milenarios de esta epistemología, nuestro milenio comienza con la aceptación de la certeza de las incertezas. Las viejas tendencias absolutistas sobre el racionalismo y el empirismo, la objetividad y la subjetividad han dado paso a una visión compleja de cómo entendemos el universo en que vivimos desde un enfoque postfundacionalista. Wilfred Carr señala acertadamente,

que este postfundacionalismo no es ni moda pasajera ni negación caprichosa, sino consecuencia histórica del desarrollo cognitivo que haya raíces en

...una gama de tradiciones filosóficas tan diversas como la filosofía anglosajona analítica (Wittgenstein, 1953), la hermenéutica alemana (Heidegger, 1962; Gadamer, 1980); el Neopragmatismo Americano, (Quine, 1964; Putnam, 1975, 1981, Rorty, 1979, 1982), el postestructuralismo francés, (Derrida, 1978, Lyotard, 1984) y la teoría crítica neomarxista (Habermas, 1972, 1974)... [nutriéndose de]... una variedad de disciplinas académicas que incluyen: la antropología (Geertz, 1977), la teoría literaria (Fisher, 1989; Eagleton, 2003), historia (White, 1987); las ciencias sociales (Foucault, 1974) , y la filosofía y la historia de la ciencia (Kuhn, 1962).³⁹⁹

El carácter objetivo y cognoscible del mundo material, se matiza ahora a través de un lenguaje y un conocimiento que queda determinado por la subjetividad de lo social y lo histórico. No hay un criterio de Verdad, sino muchos; el experimento no es el criterio de esa Verdad, pero a ella sólo puede convergerse a través de la experimentación. No se trata de que haya o no métodos específicos, sino de asumir que no hay una sola hermenéutica ni priman en ellas las mismas heurísticas. No hay teoría, a la fecha, que pueda englobar la épica humana. La filosofía de la ciencia y la propia ciencia, deben ser vistas sólo como herramientas, como fundamentos cognitivos, más nunca como ideologías o dogmas infalibles. Y a pesar de su carácter transitorio, humano e imperfecto, nadie puede negar la impronta y la urgencia del actuar científico responsable. La Ciencia y su Naturaleza deben ser enseñadas en esta complejidad. Y para ello necesitamos un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Esa debe ser nuestra máxima urgencia.

Los humanos y nuestra ciencia, hemos escudriñado y transformado a voluntad los entornos más ínfimos y más lejanos, hemos creado la capacidad de dirimir entre la vida y la muerte, pero aún estamos lejos de entender a cabalidad el más complejo fenómeno del universo conocido: el aprendizaje humano. Si necio es negar tres

³⁹⁹ Carr, W. (2006): Education without Theory. British Journal of Education Studies. Vol 54, No 2

milenios de experiencia en la escuela y la educación, iluso sería pretender conocer la vía exacta para resolver este problema de máxima complejidad. Si el conocimiento del mundo material es imperfecto y eternamente falsable, si el aprendizaje individual-social es un proceso tremendamente más complejo, ¿cómo podemos afirmar, desde bases racionalizadoras más no racionales, que sabemos cómo enseñar? No hay ninguna teoría educativa que sea exhaustiva y autoincluyente. Aceptar una única explicación, una única estrategia y una única forma es mitificar la práctica educativa. Ciencia y Arte han de prodigarse en dependencia de las necesidades, posibilidades y antecedentes, sabiendo siempre que el resultado de hoy no ha de ser, necesariamente, el resultado de mañana. La experimentación, salvando las diferencias entre lo científico y lo educativo, es una herramienta primaria para poner de manifiesto las potencialidades y complejidades de la ciencia en el plano didáctico. Ha de optarse, adaptarse, adoptarse e integrarse en dependencia de las circunstancias. Y para ello necesitamos un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Esa debe ser nuestra máxima urgencia.

Hemos intentado mostrar que la experimentación en la enseñanza de las ciencias, a pesar de su impronta didáctica, es un recurso valioso e imprescindible para muchas de las competencias que requiere el ciudadano del siglo XXI. Muchos mitos han sido analizados y rechazados, desde aquellos en donde impera la concepción de la negación experimental por cara, inútil e inoperante, hasta aquellos que pretenden transformarla en agua bendita. Se ha demostrado que la experimentación está más cerca de la voluntad que del bolsillo, que las verdaderas trabas son humanas y no sólo materiales. Y esto se ha probado en la práctica educativa de un país de Nuestra América que ni está en el Grupo de los Ocho, ni tiene una tradición secular en la educación en ciencias. Si este estudio tiene alguna valía, es sólo como motivador hacia una generalización de estos esfuerzos. Y para ello necesitamos un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Esa debe ser nuestra máxima urgencia.

Si alguien concluyera que este trabajo se enfoca en una negación de toda teoría filosófica, científica o educativa, que a la postre se está promulgando un anarquismo cuya consecuencia primera será el caos y la falta de derroteros, no ha interpretado

adecuadamente nuestro mensaje. Todas las teorías aquí estudiadas arrojan luces parciales, de la misma forma que todos los teóricos, desde la Grecia Clásica hasta nuestros días, llevan en sí un poco de cada una de estas grandes teorías.

El autor de esta Tesis considera que esta complejidad inmanente de la Ciencia y su Enseñanza han de enfrentarse justo evitando extremos: el extremo de Feyerebend en el plano de la epistemología de la ciencia detrás de su “todo vale”, o el extremo de Carr⁴⁰⁰ en el plano de la epistemología de la teoría educativa del “nada vale”. Una mejor opción de aquello que los educadores pudiéramos intentar, a nuestro entender, se ubica más próxima al eclecticismo de Gagné.

No hay, en nuestras conclusiones, relativismos restrictivos a la Teoría, sino eclecticismo liberador para la Acción. Al Hacer, erramos. Pero no hay lugar al no hacer. La acción es impostergable. Y para ello necesitamos un profesorado instruido, creativo, motivado, colaborativo y comprometido. Esa debe ser nuestra máxima urgencia.

⁴⁰⁰ N. del A: En el artículo citado y desde la aceptación de las tesis postfundacionalistas, Carr proclama que en Educación “ha llegado la hora de abandonar la búsqueda de fundamentos epistemológicos que puede garantizar la veracidad de los conocimientos teóricos”, y concluye que “No hay fundamentos epistemológicos que nos permitan determinar si aquello que los educadores creen que es cierto, realmente es cierto”. Nosotros discrepamos en esta postura extrema. Se niega la Teoría desde concepciones teóricas y al negarla, se absolutiza la práctica como Empirismo teórico.

Anexos.

1- Estudio basal 2008. *Percepción de estudiantes de recién ingreso de carreras de ingenierías sobre la experimentación docente en el aprendizaje de la Física Universitaria: Caso Guatemala 2008.* 25 de enero de 2008

2- *Bases del Concurso Galileo. Proyectos científicos ejecutables por alumnos de primer año de las Carreras de Ingeniería.*

3- *Impacto del Concurso Científico Galileo en los medios de comunicación.*

Anexo 1

**Universidad Panamericana
Facultad de Educación
Educación y Ciencia**

Facilitador: Dr. Danilo Palma



25 de enero de 2008

**Percepción de estudiantes de recién ingreso de
carreras de ingenierías sobre la experimentación
docente en el aprendizaje de la Física
Universitaria:
Caso Guatemala 2008**

Autor: A. J. León Burguera

Universidad Panamericana
Facultad de Educación
Educación y Ciencia
Facilitador: Dr. Danilo Palma
Marzo 2008



25 de enero de 2008

Percepción de estudiantes de recién ingreso de carreras de ingenierías sobre la experimentación docente en el aprendizaje de la Física Universitaria:
Caso Guatemala 2008
(Estudio basal 2008)

Resumen:

El siguiente reporte se inscribe dentro del estudio sobre la experimentación en la enseñanza de la Física para estudiantes de ingeniería en Guatemala.

Se ha desarrollado bajo los auspicios del **Dr. Danilo Palma** como investigación basal para describir el estado actual de este tema. La investigación de campo se desarrolló con estudiantes de recién ingreso a las Facultades de Ingeniería de la Universidad Galileo en Ciudad Guatemala, Guatemala, CA.

La encuesta presupone que la muestra representa adecuadamente la población de interés aunque no se ha realizado ninguna prueba de validación en ese sentido.

Se desarrolló una prueba reactiva para el efecto con campos cruzados que permitieran la contrastación de las evidencias. Los resultados se alimentaron a una base de datos en **Access** y se procesaron con el software **SSPS 16.0** Los resultados confirman las evidencias empíricas sobre una muy pobre experimentación en la enseñanza básica de la Física así como la presencia de fuertes concepciones erróneas sobre el papel de la Física, la experimentación y la informática en la enseñanza y aprendizaje de la Física. Se analizan otros resultados colaterales al tema central pero muy vinculados con el problema de fondo: el logro de una enseñanza significativa de las ciencias.

Palabras clave: didáctica experimental, física universitaria, TICS, epistemología.

Introducción:

La presente investigación se inscribe dentro del ciclo de Investigación Educativa y la Propuesta de Tesis Doctoral del autor “Epistemología, Experimentación y Enseñanza de la Física en el entorno Guatemalteco”

Esta investigación persigue:

1- Demostrar que en muchos centros de enseñanza media guatemaltecos

- La experimentación en la enseñanza de la ciencia es escasa o inexistente, lo que conlleva una enseñanza mecánica, repetitiva y no significativa.
- Si hay laboratorios, estos generalmente se realizan como rígidas recetas de cocina sin que el estudiante tenga capacidad dialogal y libertad de acción.

2- Demostrar que los jóvenes llegan a la Universidad con una capacidad adecuada en el uso y manejo de las nuevas técnicas de información y comunicación que les permitirían transitar hacia la experimentación moderna.

3- Evaluar el impacto emotivo de una experimentación moderna sobre los estudiantes.

4- Sentar las bases para un esquema de acción didáctica que permita una activación en el tratamiento de la experimentación teniendo en cuenta las condiciones sociales, culturales, económicas y humanas del entorno guatemalteco.

Marco teórico

Ciencia tecnología sociedad y ambiente:

Las relaciones entre ciencia tecnología sociedad y ambiente (CTSA) cada vez cobran mayor vigencia y relevancia en el mundo y en particular en la teoría de

enseñanza aprendizaje. A la pregunta de qué, cuando, cómo y para qué enseñar ciencias se refiere casi medio siglo de investigación epistemológica, didáctica, psicológica y social. Cabe notar que, bien sea por el crecimiento exponencial de la necesidad del conocimiento o por lo imperativo del tema para una concepción racional y humanística de la Sociedad, la cantidad de investigaciones y publicaciones en todas partes del mundo es muy grande.

Los fundamentos de tal necesidad se insertan en la importancia de la ciencia atendiendo a:

Valor formativo: Suministra los requerimientos esenciales para la ciudadanía del siglo XXI.

- Conocimiento para entender
- Destreza para manejar
- Capacidad para participar
- Sabiduría para sobrevivir

En este sentido es válido acotar que la democracia carece de sentido pleno si la participación voluntaria – y no coartada – deja de ser libre por carencia de razón de causa. La participación ciudadana es realmente libre y efectiva, si el ciudadano dispone de la información y la capacidad de emitir juicios con bases científicas.

La Verdadera democracia, fundamentada en la libertad individual, sólo es alcanzable cuando el individuo posee razón de causa en el voto, algo que no es posible sin una educación científica adecuada. La educación científica desarrolla aptitudes y actitudes participativas y abiertas al diálogo, el intercambio de información y puntos de vistas, la verificación, la selección de refutaciones como criterios de verdad, la negociación y la toma de decisiones.

Los rasgos esenciales de la ciencia, vg su falibilidad y la complementariedad del conocimiento, hacen que ésta posea un carácter histórico y por tanto elástico y mutante. Este carácter dialéctico es el mejor entorno para el desarrollo de

aprendizaje, el método idóneo para aprender a pensar. (Bybee y DeBoer; Marco; Fensham; Gil Pérez).

Valor pragmático: La actividad científica hace mucho que dejó de ser una actividad académica reducida a un grupo élite y aislado para convertirse en fuerza productiva *per se*. La siempre creciente disminución del intervalo entre el hallazgo y la aplicación tecnológica, la vinculación de los grandes consorcios industriales con la investigación pura, la interrelación entre ciencias históricamente disímiles y la colectivización y socialización de la actividad científica son rasgos asociados a este nuevo valor.

Valor ético y estético: El conocimiento científico, se asienta en valores y comportamientos que testimonian su origen social. La repetibilidad, el ajuste a la evidencia, la concertación grupal para alcanzar y aceptar los resultados, conforman parte de una ética cuyos principios son no sólo propios de estas disciplinas, sino extrapolables a la formación humana integral. Por otro lado, aun en los casos donde aparece abstracta y desvinculada de la vida cotidiana, la ciencia permite un disfrute estético cuyo dimensionamiento se hace observable en todas las expresiones artísticas. No siempre son útiles para nuestra existencia, pero permiten disfrutar de ella. Es, por tanto, un elemento que no puede obviarse en la moderna educación en valores.

Más allá de definiciones, relaciones y entrelazamientos aún no del todo determinados, las llamadas Ciencia Duras presentan una estructura piramidal en cuya base se presenta la Matemática, vinculada con la realidad pero de independencia enorme en comparación con las otras ciencias, seguida de la Física y las otras Ciencias Naturales, factiles y de confirmación experimental. (Lederman; Pierce). En la enseñanza de la Física y la Matemática, descansan entonces la Química y la Biología, sustento de las Ingenierías, las Ciencias de la Salud y por encima de ellas las Ciencias Sociales y del Comportamiento.

La educación en Física es, pues, requisito indispensable de toda la humanidad y no de un selecto grupo de elegidos. En todas partes del mundo desarrollado se pone de manifiesto una reforma educativa y curricular que contempla una enseñanza en ciencia para todos, suponiendo un currículo único para todos los estudiantes. De hecho, en este mundo desarrollado no se discute esto, sino cómo abordar la perenne necesidad de alfabetización que este paradigma implica. (Fourez; Bybee; National Science Curriculum Standards)

La física y la vinculación teoría práctica.

La Física surge y termina en el experimento, en esa vinculación doblemente engarzada que ya resulta sustentada por los fundadores del método científico, comenzando en una observación y concluyendo en una corroboración que cierra el círculo práctica – realidad teoría – práctica - realidad. Al margen de discusiones ontológicas y teleológicas asociadas con la epistemología de la Física, el experimento no sólo resulta criterio de aceptación y vinculación de teoría y práctica sino un elemento de estrategia didáctica en el aprendizaje que no puede faltar en una enseñanza genuina. El conocimiento de la Física es un metaconocimiento que llega sólo a través de la vinculación teoría–realidad.

Entonces la enseñanza de la Física sólo puede darse en un vínculo perenne entre la construcción teórica y la experimental. La vinculación de práctica docente y el experimento es no sólo deseable sino imprescindible. (Orlik)

Situación Guatemalteca.

A la muy precaria situación educativa nacional, se le añade a la enseñanza de la Física en Guatemala un condicionamiento social e histórico en el que se siguen, en el mejor de los casos, estructuras freirianas “bancarias” atiborradas de conceptos y esquemas totalmente alejados de una verdadera y genuina enseñanza significativa que exige:

- El autoaprendizaje, facilitado pero individual, de los conocimientos por parte del sujeto a través de la experiencia:
 - La vinculación teoría-práctica
 - La experimentación activa (Piaget)
- Interrelación de los conocimientos disciplinares, sus transversalidades, sus conceptualizaciones, su sitio en la línea de continuidad histórica, sus aplicaciones sociales. (Ausubel, Gardner)
- La problematización continua y las estrategias de resolución como motivador y conductor del comportamiento. (Polya)
- La acción del grupo sobre el aprendizaje individual. (Freire, Vygotski, Bruner)
- La comunicación (dialógica y no sólo informacional) como condición y factor de aprendizaje. (Vygotski, Bruner, Kaplún).
- La aplicación social de este conocimiento (Engels).
- La jerarquización, gradación y adecuación de las tareas.
- La formación y superación permanente del cuadro docente.
- El reposicionamiento y la remuneración del docente en la sociedad.

Desarrollo:

La vinculación de la teoría y la práctica ha sido un axioma del aprendizaje y desarrollo de la ciencia desde sus orígenes. La necesidad de satisfacer las apremiantes y crecientes competencias que un ingeniero debe poseer al llegar al mercado laboral han estado creciendo de forma acelerada ya que:

- 1- Las más modernas herramientas científicas, tecnológicas e instrumentales se aplican de forma casi inmediata a los procesos productivos.
- 2- El mercado laboral, como norma, da por sentado la tenencia de competencias mínimas que permitan una adecuación inmediata del egresado a la economía.
- 3-Una nueva tendencia de destrezas y capacidades ha estado emergiendo llevando al egresado, de la hiperespecialización, a formatos más generales.

4- El concepto de aprendizaje continuo como fundamento del ser social forzado a aprender a aprender no es ni espontáneo ni natural, y debe ser enseñado en el ámbito de las capacidades y habilidades experimentales en la ciencia.

Estos cambios de necesidades del mercado y la sociedad se aúnan a un cambio de paradigma educativo en el que el aprendizaje y el desarrollo de competencias por el alumno son el centro de atención en el proceso enseñanza aprendizaje.

Estos cambios, en extremo acelerados, han resultado saturantes y nuestros centros universitarios nacionales no pueden reaccionar de forma adecuada y oportuna a pesar de los múltiples intentos por incorporar nuevas tecnologías de información y comunicación al aprendizaje.

En el caso de la experimentación en la Física Universitaria para ingenierías la situación se agrava ya que:

- a) No existen programas de desarrollo experimental adecuado ni en las universidades ni en los niveles previos del sistema educativo.
- b) El equipamiento necesario, generalmente de precios exorbitantes para las posibilidades locales, resulta prohibitivo para la mayor parte de los centros.
- c) Una cultura de indiferencia, conformismo, justificación y rechazo afecta tanto a los docentes como a los jóvenes que arriban a las aulas universitarias.
- d) Los novedosos debates en la epistemología de la Física ni se imparten ni se desarrollan en el ámbito profesoral.

Este estudio experimental **basal** persigue:

- 5- Explorar la preparación experimental de los alumnos de ingreso a ingeniería.
- 6- Explorar la capacidad de los estudiantes para manejar las TICs
- 7- Evaluar la reacción de estudiantes y docentes ante un primer impacto con la nueva experimentación y su tecnología.
- 8- Contrastar las diferencias perceptivas entre la experimentación real y su sustituto habitual, la llamada “experimentación virtual”.

Marco Referencial. Población y muestra.

Atendiendo a su naturaleza cualitativa, se desarrolló la investigación como un estudio de casos dada la diversidad de orígenes de los alumnos de recién ingreso, la diversidad de especialidades y la particularidad del tratamiento a una única Universidad. En este tipo de investigación el muestreo es prefijado y definido de antemano. La población de interés (estudiantes que optan por estudiar ingeniería en Guatemala), será representada por los alumnos de recién ingreso a cinco especialidades de ingeniería de esa Universidad. Cada especialidad se analizará como un caso particular dentro del estudio. Dada la naturaleza de la selección, el muestreo resulta un censo cuya aleatoriedad consideraremos basada en el supuesto de una relativa homogeneidad de las matriculas de ingeniería en las Universidades guatemaltecas.

A pesar de la intención de cuantificar los resultados y sus pruebas, se parte del entendido que este tipo de estudio no puede alcanzar una significancia cualitativa ya que:

- a) el estudio no es cualitativo
- b) las pruebas, aplicándose a entornos socioeducativos, no necesariamente deben tener validez global o extemporánea.
- c) debería probarse el supuesto de homogeneidad entre las matrículas universitarias a especialidades de ingeniería.

Al no haberse realizado pruebas en este sentido, por el momento se entenderá que los resultados son validables sólo para los estudiantes de recién ingreso de la Universidad Galileo. Hay, sin embargo, un fuerte consenso en el sentido de que no hay nichos marcadamente diferenciables en cuanto a la calidad en la preparación del estudiantado que ingresa a las Universidades Nacionales para cursar carreras de ingeniería. Este consenso se refuerza por la diversidad de colegios contemplados en este estudio. (197)

Población de estudio:

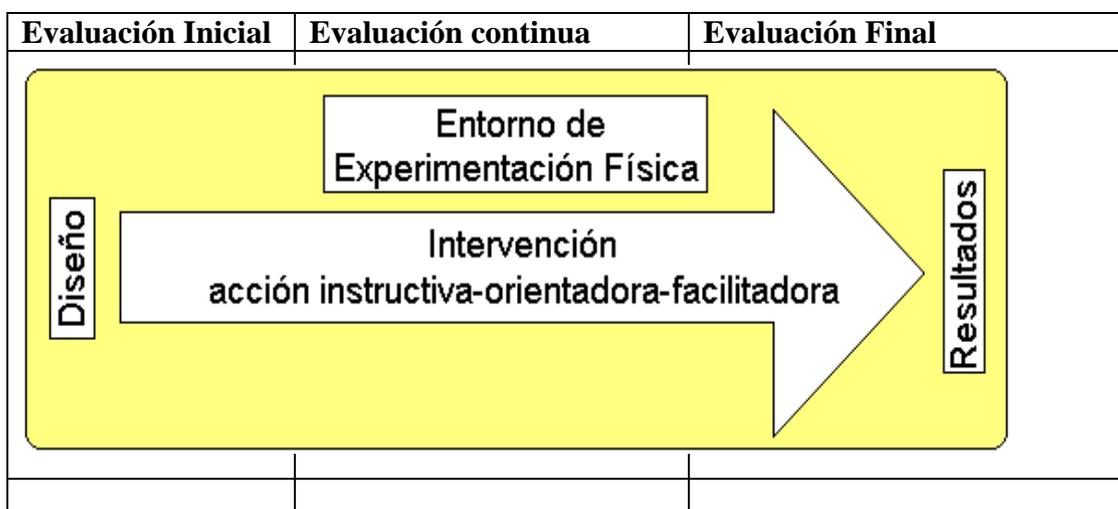
Grupos por ingenierías	Caracterización	Caracterización	Debates	Evaluaciones Docentes
	inicial	final		
Sistemas	75	66	1	
Electrónica	26	23	1	
Telecomunicaciones	37	29	1	
Industrial	92	82	2	
Administrativa	62	56	1	
TOTAL	292	256	6	

Instrumentalización

Se aplicó el Principio de Triangulación (Ruiz Olabuénaga, 1999; Bisquerra, 2004) mediante el empleo de diversas técnicas de sondeo entre las que pueden mencionarse encuestas seriadas, observaciones de trabajo experimental, evaluaciones académicas y discusiones grupales entre otras.

Las fuentes de información directas serán por tanto variadas aunque resultarán determinadas por el comportamiento y apreciación de los estudiantes y docentes implicados en la prueba.

Diagrama de momentos, objetos, instrumentos y fuentes de información:



Objetos: Nivel básico Especialidad Género Origen Experimentación	Prácticas de laboratorio Proyectos experimentales Actitud/motivación	Evaluación de las prácticas Evaluación de los proyectos Actitud/motivación Rendimiento Asistencia Satisfacción
Instrumentos: Encuestas Entrevistas	Encuestas Entrevistas Observación Exámenes	Encuestas Entrevistas Resultados proyectos Exámenes
Fuentes: Estudiantes Docentes	Estudiantes Docentes	Estudiantes Docentes

Cronograma:

—> Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
√ Actividades		▼																	
Diseño	[]																		
Encuesta 1		[]	[]																
Laboratorio (a)	[]																		[]
Proyecto (b)			[]																[]
Seguimiento	[]																		[]
Evaluaciones		[]						[]		[]									[]
Entrevistas			[]					[]											
Debates															[]				[]
Encuesta 2																		[]	[]

Instrumentos:

Los instrumentos empleado se muestra en las siguientes páginas. Se utiliza en ellos una escala de Likert de cinco puntos con el propósito de agilizar la captura y procesamiento de la información.

La información se complementa y contrasta con la obtenida a través de las entrevistas y debates.

UG Departamento de Física

La siguiente encuesta pretende entender la situación de los estudiantes al llegar a la UG en el área de Física. Les rogamos se tomen unos minutos para leer y contestar con apego a su verdad. Por favor marque con una **X** en donde corresponda.

Muchas gracias por permitirnos ayudarlos.

Carrera que está cursando: ___ I. Administrativa ___ I. Sistemas
 ___ I. Industrial ___ I. Electrónica
 ___ I. Telecomunicaciones

Género: ___ Masculino ___ Femenino

Colegio de donde se graduó: _____

Título medio diversificado ___ Bachiller en ciencias ___ Bachiller en artes
 ___ Magisterio ___ Contabilidad ___ Otro

1 ¿Que texto de Física empleo en el **diversificado**?(marque con una **X** sobre el nombre)

					OTRO	NINGUNO
Serway	Serway-Beichner	Giancoli	Hecht	Wilson	Otro	Ninguno

	Poco, nunca		A veces		Mucho, siempre
2 ¿Cuántos cursos de Física recibió ANTES de llegar a la Universidad?	0	1	2	3	4
3 ¿Cuántas Prácticas de Física desarrollo Ud. en el diversificado?	0	1	2	3	4
4 ¿Cuántas simulaciones de Física por computadora realizó en sus cursos de Física?	0	1	2	3	4
6 ¿Le ha resultado fácil trabajar con el GES en la Universidad Galileo?	0	1	2	3	4
7 ¿Tiene acceso a una caja de herramientas con pinzas y desarmadores en su casa?	0	1	2	3	4
8 ¿Usó applets, animaciones o programas en sus cursos previos de Física ?	0	1	2	3	4
9 ¿Qué importancia cree Ud. que tiene la Física como ciencia para su especialidad?	0	1	2	3	4
10 ¿En qué medida considera importante la práctica y la experimentación para la ingeniería?	0	1	2	3	4
11 ¿Ha trabajado Ud. alguna vez con el programa Excel ?	0	1	2	3	4
12 ¿Le gustaría un blog para intercambiar ideas sobre proyectos científicos?	0	1	2	3	4
13 ¿Le gustaría disponer de archivos mp3 para reforzar algunos temas de estudio?	0	1	2	3	4
14 ¿Cree Ud. que la experimentación real es importante para el aprendizaje de la Física?	0	1	2	3	4
15 ¿Con qué frecuencia arma y desarma dispositivos electrónicos o mecánicos?	0	1	2	3	4
16 ¿Cuántos compañeros quisiera que participaran con Ud. en su grupo de Laboratorio?	0	1	2	3	4
17 ¿Cuánto le gustan la matemática ?	0	1	2	3	4
18 ¿Preferiría una experimentación virtual con una PC al trabajo en el Laboratorio?	0	1	2	3	4
19 ¿Le ha parecido interesante el trabajo en el Lab de Física de la UG ?	0	1	2	3	4
20 ¿Qué edad aproximada tenía su profesor de Física en el básico?	20	30	40	50	60



Departamento de Física

Calidad, experiencia y compromiso.

**Trabajando para Ud,
Trabajando para el Futuro de Guatemala**

UG Departamento de Física

La siguiente encuesta pretende entender la situación de los estudiantes al finalizar el primer semestre en el área de Física. Les rogamos se tomen unos minutos para leer y contestar con apego a la verdad. Por favor marque con una **X** en donde corresponda.

Muchas gracias por permitirnos ayudarlos.

Carrera que está cursando: I. Administrativa I. Sistemas
 I. Industrial I. Electrónica
 I. Telecomunicaciones

Género: Masculino Femenino

Colegio de donde se graduó: _____

Título medio diversificado Bachiller en ciencias Bachiller en artes
 Magisterio Contabilidad Otro

Este semestre se realizaron siete prácticas de laboratorio cuyos nombre se listan a continuación

PL 1 Errores y procesamiento de datos PL 5 Dinámica de la Rotación
 PL 2 Gráficos y movimiento PL 6 Hidrostática
 PL 3 Fuerzas de Rozamiento PL 7 Movimiento Armónico Simple
 PL 4 Conservación de la energía

1	¿Cuál de estas prácticas le pareció la mejor ?	La número _____				
2	¿Cuál de estas prácticas le pareció la peor ?	La número _____				
3	¿ A cuántas prácticas NO PUDO ASISTIR ?	0	1	2	3	4
		Poco, nunca		A veces		Mucho, siempre
4	¿Cuántos compañeros quisiera que participaran con Ud. en su grupo de Laboratorio?	0	1	2	3	4
5	¿Le ha parecido organizado y eficiente el trabajo en el Lab ?	0	1	2	3	4
6	¿Ha recibido ayuda adecuada de los Profesores del Lab ?	0	1	2	3	4
7	¿Le han sido útiles las Hojas de Trabajo para el desarrollo de las Prácticas?	0	1	2	3	4
8	¿Ha tenido problemas con el tiempo para la ejecución de alguna práctica?	0	1	2	3	4
9	¿Le ha sido útil el trabajo en el Lab para comprender o reforzar la teoría del curso?	0	1	2	3	4
10	¿Preferiría una experimentación virtual con una PC al trabajo en el Laboratorio?	0	1	2	3	4
11	¿Le gustaría tener más tiempo para el trabajo en el Laboratorio?	0	1	2	3	4
12	¿Le gustaría extender el número de prácticas del curso?	0	1	2	3	4
13	¿En qué medida considera importante la práctica y la experimentación para la ingeniería?	0	1	2	3	4
14	¿Le ha resultado fácil trabajar con el SOFTWARE (*cmb)?	0	1	2	3	4
15	¿Le ha parecido interesante el trabajo en el Lab de Física de la UG ?	0	1	2	3	4

Cualquier otro comentario o sugerencia será bien recibido:



Departamento de Física

Calidad, experiencia y compromiso.

**Trabajando para Ud,
 Trabajando para el Futuro de Guatemala**

Caracterización general del perfil de la población de estudio:

Se considera importante especificar el perfil general de la población de estudio por cuanto ella determina en gran medida la naturaleza del estado inicial, el plan de acción y los posibles resultados y recomendaciones.

La población está compuesta mayoritariamente por jóvenes de 18-21 años, de clase media, con marcado sesgo al género masculino, egresados de bachillerato de la red educativa privada guatemalteca, sin experiencias laborales previas. Se considera que cuentan con destrezas mínimas aceptables para el desarrollo del proyecto en el manejo de las TICs suficientes para manejar paquetes de edición comunicación, software científico básico, buscadores, etc.

La universidad elegida cuenta con un sistema muy efectivo para desarrollar el uso de las TIC y un muy moderno Laboratorio de Física cuyo montaje y adecuación pretenden dar respuesta a las expectativas de la Tesis Doctoral.

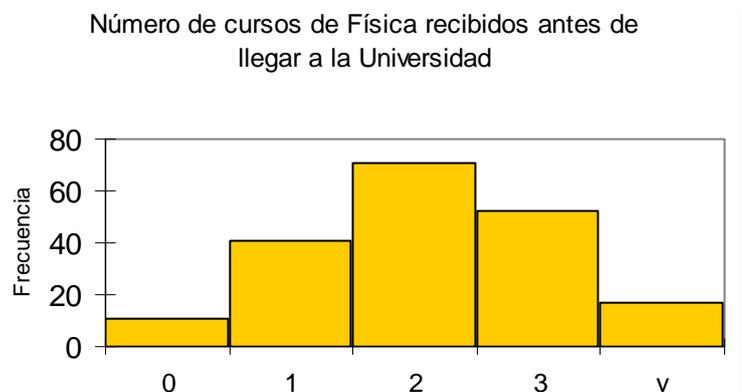
Resultados

Para el instrumento 1, la muestra fue sustentada por 292 alumnos de nuestra población de interés provenientes de 107 diferentes instituciones de enseñanza media en Guatemala.

A continuación se muestran algunos de los resultados más relevantes por preguntas. Consideramos oportuno insistir en el carácter puntual del estudio y sus conclusiones.

2- ¿Cuántos cursos de Física recibió ANTES de llegar a la Universidad?

Con media de 2.11 y desviación de 1.02 los resultados indican la pobre atención que el currículo muestra hacia la Física. Resultante es el hecho de que el 6% de la muestra no ha recibido ningún curso de física y aun así haya elegido estudiar una carrera de ingeniería.



2-¿Cuántas Prácticas de Física desarrolló Ud. en el diversificado?

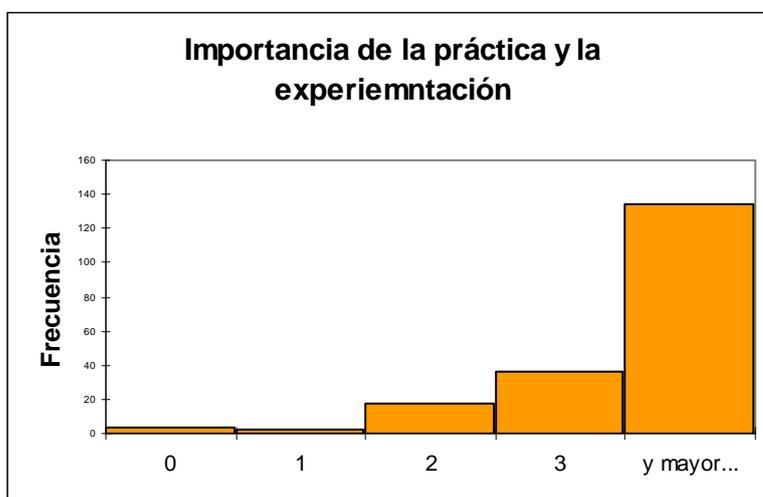
Con media de 1.5 y desviación de 1.3 los resultados indican la bajísima importancia que la experimentación ha tenido en la educación de estos graduados. Resultados aun más sorprendentes se obtienen en la pregunta sobre el uso de simulaciones computacionales con media de 0.42 y desviación de 0.91. Este resultado indica la existencia de experiencias con fundamento totalmente teórico si apego a la naturaleza, manejo y uso de la ciencia. La prueba t sobre validación entre uso de simulaciones y applets es muy fuerte, ($t = 4.20$, $p = 4.02589E-05$) testimoniando la poca importancia que la informática recibe como herramienta de enseñanza.

9- ¿Qué importancia cree Ud. que tiene la Física como ciencia para su especialidad?

Clase	Frecuencia acumulada	
Poco	7	3.6%
En ocasiones	5	6.3%
Moderado	25	19.3%
Mucho	58	49.5%
Extrema	97	100.0%

A pesar de presentar un sesgo muy marcado, lo impactante en los datos es el hecho de que un 10 % de los estudiantes de ingeniería llega a la Universidad pensando que la Física es una asignatura no muy importante para su carrera.

Las preguntas vinculadas con el uso de las TICS y sus destrezas básicas respaldan la hipótesis de que se está despreciando el uso de estas poderosas herramientas y la capacidad real de los estudiantes para aprovecharlas. Las respuestas a las preguntas 6, 11 y 13 sobre manejos de paquetes numéricos reciben respuestas contundentes: los jóvenes están habituados y son



capaces de manejar sistemas electrónicos, servidores y programas de cálculo y desean contar con nuevos canales informativos para su estudio.

La diferente notoria en este ámbito tiene lugar

en la pregunta sobre la utilidad de un blog sobre proyectos científicos en la que se obtiene una respuesta mucho más tibia (media 2.79, desviación 1.26) No nos atrevemos a formular explicación al respecto.

La experimentación recibe un tratamiento ecléctico en los diferentes reactivos, aunque en general la respuesta es favorable en el sentido de ser fundamental para el aprendizaje y la práctica ingenieril.

Sin embargo suelen aparecer aspectos contrastantes al correlacionar estas preguntas con las preguntas 2 (No. de cursos previos), 7 (tenencia de herramientas manuales), 14 (importancia de la experimentación en la Física) 15 (Frecuencia de armar y desarmar) y 19 (interesante el Lab Física UG)

La prueba ANOVA indica una significancia como un todo en la prueba ($F = 2.96$, $p = 0.014$), pero la prueba t indica como no significativos los reactivos 2 y 7, mientras que el 19 indica que los estudiantes con una alta valoración de la experimentación no consideran tan interesante el Lab de Física

Es la experimenta importante	bi	ET	t	p	Inf 95%	Sup 95%	Inf 95.0%	Sup 95.0%
Intercepción	2.5502	0.3427	7.4424	0.0000	1.8742	3.2262	1.8742	3.2262
2No_cursos_previos	0.0167	0.0572	0.2927	0.7701	-0.0961	0.1296	-0.0961	0.1296
7tiene_herramientas_manuales	0.0022	0.0478	0.0458	0.9635	-0.0921	0.0965	-0.0921	0.0965
14import_de_la_experimt_en_l	0.3208	0.0862	3.7202	0.0003	0.1507	0.4909	0.1507	0.4909
15frecuencia_de_armar_y_des	0.0282	0.0468	0.6038	0.5467	-0.0640	0.1205	-0.0640	0.1205
19interesante_el_Lab_Fisica_U	-0.0867	0.0631	-1.3736	0.1712	-0.2111	0.0378	-0.2111	0.0378

Preguntas colaterales indican que sólo el 26% de la muestra empleó los textos más destacados de las editoriales Pearson, Thomson y McGraw Hill y que muy probablemente llegan a la Universidad sin hábitos de manejo de textos de Física.

Este indicador avala la hipótesis de que, a pesar de que los colegios exigen la compra del libro, los estudiantes siguen empleando las notas de clase como material fundamental de estudio, convirtiendo en panfletesca la educación.

El instrumento 2, (Encuesta 3) fue aplicado a 256 estudiantes al concluir 18 semanas del primer semestre y haber realizado 7 experimentos en el Laboratorio. Esta encuesta indicó un fuerte impacto positivo y muy buena aceptación de la experiencia con la nueva tecnología, al menos desde el punto de vista emotivo. Un 56% de los encuestados, concluyeron sin embargo que el tiempo para la realización de los experimentos no era suficiente. Concluimos que lo anterior es síntoma de un

diseño didáctico inadecuado de las actividades por intentar ser demasiado abarcadoras. Otra posible razón, aunque consideramos que sea de menor fuerza, son las eventuales fallas de la tecnología, que aunque mínimas siempre afectan el desempeño. Habría que investigar en qué medida la ausencia de una preparación adecuada para la experimentación influye en este criterio. La asistencia a los laboratorios es notablemente más alta, porcentualmente hablando, que la asistencia a las conferencias teóricas. Esto puede ser asociado en parte, al carácter evaluativo de las actividades experimentales y la no reposición de las mismas salvo justificaciones muy bien fundamentadas.

Las entrevistas personales corroboran por consenso los resultados de la encuesta. Las experiencias de investigación acción en las prácticas de laboratorio indican una recepción muy positiva a las experiencias educativas en un laboratorio moderno, equipado con tecnología educativa de última generación. Menos del 2% de la población mostró dificultades invalidantes para el manejo del instrumental.

CONCLUSIONES GENERALES:

Los resultados preliminares confirman muchas de las hipótesis empíricas sobre la ausencia de la experimentación en la enseñanza de la Física en el nivel básico y la necesidad imperiosa de modificar este *estatus quo* desde la base: la formación profesional y científica de los docentes.

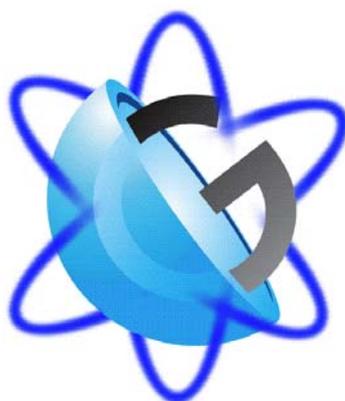
Corroboran, además, que es falso el supuesto de incapacidad instrumental desde el punto de vista del uso y manejo de las TICs para el uso y manejo de las nuevas tecnologías didácticas para la experimentación. Ratifican el fuerte impacto motivador que estas tecnologías educativas tienen sobre los jóvenes. Es muy notorio, y preocupante, que el reactivo 20 indique que la mayor parte de los docentes presentan edades comprendidas entre los 25 y 45 años, una tipificación cronológica que los enmarca como una población de docentes adultos con hábitos laborales ya marcados.

Anexo 2



Concurso Galileo

**Proyectos científicos ejecutables por
alumnos de primer año de las Carreras de
Ingeniería.**



Bases, objetivos y características.

Universidad Galileo
Departamento de Física
Julio 2005

Concurso Galileo.

Introducción:

La Universidad Galileo es heredera de una tradición de más de 25 años de difusión de Ciencia y Tecnología en Centroamérica. Fiel a esa visión de cambio a partir de la tecnología y honrando la figura de Galileo Galilei, padre de la experimentación y la investigación científica, se instaura el Concurso Científico Anual Galileo.

Objetivos del concurso:

- 1- Investigar y aplicar experimentalmente las teorías, técnicas y modelos de la ciencia al nivel del ciclo de ciencias básicas.
- 2- Ilustrar mediante estrategias constructivistas la Naturaleza de la Ciencia.
- 3- Motivar a los estudiantes de recién ingreso mediante una vinculación temprana entre la Teoría y la Práctica.
- 4- Favorecer el trabajo en equipo y el desarrollo de habilidades sociales de comunicación, convivencia, pertinencia y pertenencia dentro de un ethos científico.
- 5- Crear un espacio de integración y desarrollo interdisciplinario en el que la Matemática, la Física, Química, la Biología y la Informática converjan.

Bases del concurso

Todos los alumnos inscritos en el primer año de las carreras de ingeniería desarrollarán un proyecto en dos etapas (primer y segundo ciclo). Los proyectos, de base multidisciplinaria, serán controlados y evaluados como parte de los cursos Física General I y Física General II.

El proyecto se desarrollará en grupos de a lo sumo tres estudiantes.

Cada grupo puede contar con un asesor graduado y un asesor estudiante. Este último será seleccionado de los mejores alumnos de los años superiores de la Universidad.

El proyecto tendrá una ponderación de 15 puntos en cada una de las calificaciones de las asignaturas mencionadas.

Características de los trabajos

Los trabajos persiguen integrar equipos en donde se estimule y promueva la comprensión del cómo se formulan y aplican las leyes de las ciencias básicas mediante la interrelación de la Matemática, la Física y la Informática.

La presencia de secciones específicas de estas tres ramas del saber es obligatoria. También pueden incluirse proyectos que adicionalmente requieran conocimientos de Química y Biología.

Todo proyecto siempre tiene que contar con una parte experimental que ilustre las leyes, principios o aplicaciones enunciados. Las observaciones y mediciones que se deriven de la parte experimental son la base para la modelación física, matemática e informática.

Los temas de los proyectos NO tendrán que limitarse a los contenidos de las ciencias impartidas en el primer año. Los estudiantes pueden investigar y profundizar de forma independiente para conseguir los más altos estándares que sus capacidades permitan.

Hay seis fases muy bien definidas en el desarrollo del proyecto, en cinco de las cuales la participación de los estudiantes es vital.

La etapa cero es **la conformación del grupo y la otorgación del tema:** La elección y asignación del tema – cuya elección, adecuación y presentación, son de entera responsabilidad del profesor – transcurre en la tercera semana del curso. Si algún grupo desea incursionar en cualquier otro tema puede solicitarlo a su profesor.

La Conexión: A los integrantes del equipo se les pide buscar información, procesarla, presentarla y exponerla de modo tal que se garantice un mínimo aceptable de comprensión sobre el tema del proyecto.

El Diseño: El Diseño del experimento requiere el planteamiento de las preguntas que deberán ser contestadas, las variables experimentales, los instrumentos, cuáles cuestionamientos tienen sentido y cuáles no. Es una etapa compleja en la que los

estudiantes deben comenzar a pensar con independencia, objetividad y sentido crítico. Un buen diseño debe contemplar el germen del resto del proyecto garantizando un mínimo de correspondencia entre los problemas – las pregunta comprobables sobre el mundo que se han de experimentar – y la generación de datos de calidad de cuya evaluación saldrán las conclusiones del trabajo.

La Experimentación: Esta es la etapa crucial del proyecto, aquí donde se concreta la esencia de la ciencia y donde, desafortunadamente, fallan muchos grupos de trabajo. Se ha impuesto una regla que es inflexible: sin observaciones, sin mediciones, sin una aproximación directa al fenómeno de estudio no habrá proyecto que pueda ser considerado.

El Análisis: Fotos, videos y datos deberán ser recopilados, ordenados, analizados, procesados y presentados justa y adecuadamente para realizar la síntesis del proyecto. La comprensión de todo este proceso se facilita y enriquece con el uso de la modelación matemática, el análisis de las limitaciones experimentales y teóricas impuestas al desarrollo del proyecto y la tecnología de procesamiento informático de la data.

La Defensa: Cada integrante del equipo debe ser capaz de exponer y defender los logros alcanzados en el proyecto. Para ello podrá hacer uso de las técnicas de información y comunicación que consideren oportunas. Las defensas, se realizarán en distintas instancias y cumplen con el papel de evaluar el desempeño individual y grupal así como con la de corregir o proponer vías para mejorar el proyecto.

El trabajo del primer semestre es teórico y experimental a nivel de prototipo. Requiere, como mínimo, la entrega de un trabajo escrito, una presentación y un modelo o maqueta del experimento propuesto.

Ajustes de temáticas y miembros de los equipos pueden tener lugar al concluir el primer ciclo.

El trabajo del segundo semestre incluye las recomendaciones hechas al proyecto en la evaluación de junio y la terminación del modelo final.

Este prototipo experimental final debe estar a la altura de la institución y evitará el uso de técnicas y materiales poco rigurosos (sin cartones ni cola blanca ni duroport). El prototipo deberá ser concebido, ensamblado y probado por el equipo. Quedan por tanto excluidos los *kits* experimentales para ensamblar de manufactura comercial. Trabajar con manos, cerebro y alma es la premisa.

Una condición consustancial con el buen desempeño del proyecto es que este prototipo experimental, debe funcionar de forma adecuada de manera que garantice las observaciones y mediciones de rigor. Las modelaciones computacionales nunca podrán suplir esta realización experimental, aunque si podrán complementarla o representarla para su mejor análisis y comprensión.

Paralelamente, cada año se convocará un concurso gráfico para el mejor Poster que identifique las premisas y objetivos del concurso (Julio). Un premio especial será otorgado al ganador de este trabajo.

Selección del Premio Anual

Una selección de los mejores trabajos (15) será la base para el Concurso Galileo. En la fecha asignada para el Concurso los trabajos serán expuestos y defendidos por sus autores y evaluados por un jurado.

El jurado estará compuesto por especialistas de las respectivas áreas de interés del resto de Universidades Nacionales y de la propia Universidad Galileo. En cada trabajo se evaluará el rigor científico, la concepción sobre la naturaleza de la ciencia como doctrina humana, el papel de la ciencia en la sociedad, la aplicación mancomunada de las ciencias básicas, la originalidad, la realización experimental, la defensa y otros aspectos que avalen el rendimiento del grupo.

Cada año se otorgará un primer premio, un segundo premio y dos terceros premios.

Los premios consistirán en diplomas y reconocimientos oficiales de la Universidad así como premios materiales para cada uno de los integrantes de los equipos ganadores.

Sobre los temas del proyecto:

Cada proyecto, aun estando al nivel de alumnos de recién ingreso, deberá representar un verdadero reto para los estudiantes.

El Comité Organizador enunciará un listado de posibles proyectos que puede ser aumentado por petición de asesores o alumnos siempre que el Comité Organizador lo considere oportuno.

Necesidades materiales y logísticas:

Es estrictamente necesario el compromiso permanente de las altas autoridades de la Universidad con el desarrollo de esta nueva forma de educar en ciencias.

Se requiere de la asignación de catedráticos y alumnos de cuarto año para la orientación, asesoría, respaldo y reglas de seguridad mínima. (15 horas semestrales).

Esta actividad debe ser remunerada por el tiempo invertido. Un asesor puede atender hasta cuatro equipos de trabajo. Se requiere la elaboración de un proyecto tipo que ilustre y oriente al alumno de primer año sobre las etapas, características, riesgos y complejidades. Se requiere coordinar el trabajo de alumnos y asesores para hacerla tanto solidaria como competitiva. Se requiere de una oportuna y efectiva propaganda del evento, tanto en el ámbito interno como en los medios de difusión masiva. Mediante el GES y MediaLab se transmitirá en circuito cerrado para la Universidad y en vivo para todo el mundo a través del Canal Galileo.

El Concurso Galileo está llamado a convertirse no sólo en oportunidad de desarrollo para nuestra juventud, sino en una verdadera fiesta para todos los amantes de la ciencia y la tecnología.

Invitaciones formales deberán ser enviadas a representantes de las Universidades, los Colegios e Instituciones Educativas afines a nuestras intenciones.

Posibles extensiones

En dependencia del éxito logrado en este proyecto para alumnos de primer año, las bases del premio pueden ampliarse a alumnos de años superiores.

Se prevé, en un futuro, la posibilidad de invitar a grupos de investigación homólogos de otras Universidades.

Prerrogativas

El Comité Organizador se reserva el derecho de modificar o ampliar algunos de estos preceptos logísticos si las circunstancias así lo sugirieran.

Antonio Jesús León Burguera
Presidente del Comité Organizador del Concurso Galileo

Anexo 3. Impacto del Concurso Científico Galileo en los medios de comunicación.

El Concurso Científico Galileo es una actividad extracurricular en donde los estudiantes exponen y compiten con diseños experimentales en los que la física, la matemática, la informática, la biología y la química se entrelazan en un proyecto interdisciplinario. Los estudiantes llevan solo algunos meses en la universidad cuando desarrollan estos prototipos por sus propios medios. Énfasis muy especial reciben los problemas sociales que la tecnología pudiera ayudar a mitigar. El trabajo en grupo, la defensa oral ante un jurado de muy alta calificación, la difusión del evento en vivo a todo el mundo vía Internet y un ambiente de rigor y solemnidad, crean las condiciones perfectas para una experiencia imperecedera. El experimento se hace centro de este esfuerzo interdisciplinario que trata de recrear la verdadera naturaleza de la ciencia como creación humana.

Algo está empezando a cambiar en un país, cuando un simple evento estudiantil, año tras año logra atraer la atención de los medios de comunicación, cuando logra desplazar – en primera plana – a la Serie Mundial de las Grandes Ligas y las matanzas del talibán.

PRENSA LIBRE 

UN PERIODISMO INDEPENDIENTE, HONRADO Y DIGNO

AÑO, NO. • Q3.00 EN TODO EL PAÍS • www.prensalibre.com • GUATEMALA, JUEVES 20 DE OCTUBRE DE 2009

Gobierno atraviesa por grave crisis de liquidez

Finanzas busca salida en endeudamiento y nuevos recortes **Pág. 3**

Creatividad e ingenio se enfocan en realidad social



Estudiantes de computación y de carreras de ingeniería de la Universidad Galileo presentaron ayer 15 inventos que concilian el componente tecnológico con la realidad social guatemalteca. En la fotografía, Miguel Herrera y Diego Maza muestran un calentador de agua que utiliza energía solar. **Pág. 12**

PRIMER PLANO

US\$10 MILLONES IRÁN A ATITLÁN

Fideicomiso será destinado a plantas de tratamiento de efluentes en cuenca de lago afectado por contaminación y cianobacteria. **Pág. 2**

INTERNACIONAL



Matanza sería acción talibán

Grupo integró la estirpe detrás de bombardeo que ayer dejó 92 muertos y 200 heridos en un concurrido mercado de Pakistán. **Pág. 47**

DEPORTES

VUELTA CICLISTICA
Guamá vence en San Pedro
Ecuatoriano gana en gran recibimiento. Nery Velásquez sigue líder. **Págs. 77 a 83**

SERIE MUNDIAL
Filis dan el primer paso
Riadella es superior y vence por 6 carreras a 1 a los Yankees, de Nueva York. **Pág. 87**



Foto Prensa Libre SAUL MARTINEZ

Izabel Oliva, Noemí Castellanos y Enrique Castro muestran el funcionamiento de un medidor de resistencia y elasticidad de materiales de construcción.

Tecnología Estudiantes exponen creaciones

15 inventos con beneficio social

POR ALBERTO RAMÍREZ

DATOS

universidad, informó que

Siglo 21 Octubre 2007

Ganan con trabajo sobre motor eléctrico

Lucía León, **Siglo 21**
mlleon@siglo21.com

El Concurso de Ciencias aplicadas a la Tecnología concluyó con la premiación a los tres mejores proyectos científicos, realizados por estudiantes de primer ingreso de ingeniería, en la Universidad Galileo.

Eduardo Suger, rector de la Universidad, comenta que "se tiene como objetivo que los jóvenes apliquen desde el inicio de la carrera universitaria, su ingenio para implementarlo en el desarrollo tecnológico para contribuir al desarrollo de Guatemala".

Daniel Cardona, Rogelio Porres y Edgar Zamora ganaron el primer lugar con su trabajo sobre Motor Eléctrico. Según indica el trío, la función del motor es

transformar la energía eléctrica en mecánica, bajo el control de una computadora que coordina los movimientos precisos del motor.

Las aplicaciones del proyecto pueden observarse en brazos robóticos y en el hogar con electrodomésticos como la licuadora, agregan los ganadores.

El trabajo sobre *Motor Stirling Real* obtuvo el segundo lugar, y el tercero fue el otorgado al trío que desarrolló su investigación sobre la tecnología CDA.

"Se tiene como objetivo que los jóvenes apliquen su ingenio al desarrollo tecnológico del país".

EDUARDO SUGER
RECTOR DE LA
UNIVERSIDAD
GALILEO



GANADORES. Daniel Cardona, Rogelio Porres y Edgar Zamora, ganaron el 1er. lugar de las Olimpiadas Científicas de la Galileo.

Referencias

- 3BScientific Products (2005): *3BScientific Products... going one step further*. PHYSICS 2005. www.3bscientific.com
- AAAS (1989): *Projet 2061* <http://www.project2061.org>
- AAAS (1990): *Science for All Americans: Project 2061*. American Association for the Advancement of Science. Oxford University Press. New York.
- AAAS AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1993): *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- AAAS, AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. (1990): *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Abbagnano, N. (2007): *Diccionario de Filosofía*. Editorial: Fondo de Cultura Económica. ISBN: 9681656296. México.
- Abbagnano, N; Visalberghi, A. (2008): *Historia de la Pedagogía*. Editorial: Fondo de Cultura Económica. ISBN: 978-968-16-0637-4. México.
- Abell, S., Lederman, N. (editores) (2007): *Handbook of research on science education*. ISBN: 0805847146 Publisher: Lawrence Erlbaum Associates. London.
- Abrahams I. ; Millar, R. : *Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science*. International Journal of Science Education, Volume 30, Issue 14, November 2008.
- Acevedo J. et al (2004): *Naturaleza de la Ciencia, Didáctica de las Ciencias, Práctica Docente y Toma de Decisiones Tecnocientíficas*. III Seminário Ibérico CTS no Ensino das Ciências; Universidade de Aveiro – 28-30 Junho 2004. <http://www.oei.es/salactsi/acevedo21.htm>
- Afriat, A. (2008): *Duhem, Quine and the other dogma* PhilSci Archive. Philosophy of Science. <http://philsci-archival.pitt.edu/archive/00003967/01/DuhemQuine.pdf>
- Alejandro, C. (2005): *Sistema Interactivo Didáctico para la Enseñanza de la Física (SIDEF)* Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias de la Educación Superior. UCLV. Cuba
- Alex Reid, A. (2007): NY Times Reports: *Schools Show No Progress Digital Digs*. http://alexreid.typepad.com/digital_digs/2007/05/ny_times_report.html
- Alexander, L. (2009): *Why College should take only 3 years*. Newsweek. October 26, 2009
- Alexander L. (2009): *The Reinvention of Higher Education*. Newsweek. October 26, 2009.
- Almassi, B. (2009): *Trust in expert testimony: Eddington's 1919 eclipse expedition and the British response to general relativity*. Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies In History and Philosophy of Modern Physics Volume 40, Issue 1, January 2009, Pages 57-67 2009
- Alters, B. (1997): *Whose nature of science?* Journal of Research in Science Teaching, 34(1).
- Andresen et al (2000): *Experience-Based Learning*. Allen and Unwin Publishers, en Foley, G., Understanding Adult Education and Training, segunda edición. Texto disponible en: <http://serc.carleton.edu/resources/36449.html>
- Aquino, T. (2001): *Suma Teológica I*, cuestión 12, artículo 12. ISBN: 87- 7914- 131-X Biblioteca de Autores Cristianos. Madrid.
- Arendt, H.: (1993): *La Condición Humana*, Ed. Paidós, Barcelona.
- Argueta, B. (2007): *Una perspectiva crítica de las competencias y estándares en las reformas educativas en Centroamérica en Democracia y Educación*. Ensayos. Colección Cuadernos de Docencia. Óscadel. S. A. Guatemala.
- Aristóteles: *De Caelo*. Libro 2.
- Aristóteles: *Metafísica*. Libro primero · A · 980a-993a. Doctrina de los antiguos tocante a las causas primeras y a los principios de las cosas. Tales, Anaxímenes, &c. Principio descubierto por Anaxágoras, la Inteligencia. <http://www.filosofia.org/cla/ari/azc10058.htm>
- Assman, H. (2002): *Placer y ternura en la educación: Hacia una sociedad aprendiente*. ISBN: 84-277-1391-6. Narcea S.A. Ediciones, Madrid.
- Atkins, P.W. (1994): *The 2nd Law: Energy, Chaos, and Form* (Scientific American Library Paperback) Ed. W. H. Freeman, August 1994. ISBN10: 0-7167-6006-1
- Ausubel, D. , Novak, J., Hanesian, H. 1983: *Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo*. Editorial Trillas, México.

- Bacon, F. (1620): *The New Organon* in James Spedding, Robert Ellis and Douglas Heath (eds.), *The Works of Francis Bacon* (1887-1901), Vol. 4, 149.
- Bacon, R.: (1267) *Opus Majus*.
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Quotations/Bacon.html>
- Bandura, A. (1977): *Social learning theory*. ISBN: 0138167516. Prentice Hall. Ohio.
- Beilin, R. (2007): *Of Boundaries and Borders creating a culture of Integration rather than assimilation*. The University of Melbourne. Address to the Deputy Vice Chancellor Academic Summit September, 2007
- Berkeley Physics Laboratory (1964): *Laboratory Physics*. Ed McGraw-Hill Book Company. New York.
- Bernard, C.; Epp, C. (1994): *Laboratory Experiments in College Physics*, 7th Edition. ISBN: 978-0-471-00251-2 John Wiley & Son, Inc. Washington.
- Bernie, D. *Webquest*. <http://webquest.org/index.php>
- Bishop, K.; Denley P. (2007): *Learning Science Teaching* ISBN-13: 978 0335 22235 3. McGraw-Hill London
- Bobbitt, F. (2007): *The Curriculum*, Kessinger Publishing. New York.
- Boswell, J: *Vida de Samuel Johnson*. <http://www.samueljohnson.com/refutati.html>
- Braithwaite, R. (1953): *Scientific Explanation*, Cambridge University Press. Massachusetts.
- Bronislaw Malinowski (citado por Bauer H. op cit p. 150)
- Brophy et al (2008): *Early elementary social studies*, en *Handbook of Research in Social Studies Education*. P40 Editado por Levstik y Tyson. En línea en <http://books.google.com.gt/books>
- Bruner, J. (1961): *The Act of Discovery*. Harvard Educational Review 31 (1): 21-32.
- Bruner, J. (1966): *Some elements of discovery*. En Eds: L. S. Shulman & E. R. Keislar. Learning by discovery: A critical appraisal (101-113). Chicago: Rand McNally.
- Bruner, J. (1971): *The Process of Education revisited*. Phi delta Kappan, 52(1), citado por Posner (op cit)
- Bruner, J. (1984): *Acción, pensamiento y lenguaje*. ISBN: 84-206-6502-9 Alianza Editorial, Madrid.
- Bruner, J. (1990): *Acts of Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Bueno, G. (1995): *¿Qué es la ciencia?* La respuesta de la teoría del cierre categorial. Ciencia y Filosofía. Pentalfa, Oviedo.
- Bunge, M. (2005): *La ciencia. Su método y su filosofía*. ISBN: 968 390 176 X Editorial: Grupo Patria Cultural, México.
- Cabero, J. (2006): *Bases pedagógicas del e-learning*. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento Vol. 3 - N.º 1 / Abril de 2006 ISSN 1698-580X
- Carnap, R. (1936-37): *Testability and Meaning*, Philosophy of Science 3: 420- 468; 4:1-40. Citado por López Cerezo (op cit)
- Carnap, R. (1966): *Philosophical Foundations of Physics*, Nueva York: Basic Books (trad. cast. en Orbis: Fundamentación lógica de la física). Citado por López Cerezo (op cit)
- Carr, W. (1999): *Educación y Democracia: Ante el desafío postmoderno*, en *Volver a pensar la educación*. Editor: Pablo Manzano. ISBN: 84-7112-403. Ediciones Morata. Madrid.
- Carr, W. (2006): *Education without Theory*. British Journal of Education Studies. Vol 54, No 2.
- Carroll, L. (2002): *Alicia en el país de las maravillas*. ISBN 84-666-0802-8. Ediciones B. Barcelona.
- Casimir, H. (1976): *Education, physics and technology*, Physics Education, 11,1, Jan 1976
- Castejón F. (2006): *El fraude en la ciencia*. Pensamiento Crítico. Página Abierta, 168. <http://www.pensamientocritico.org/fracas0306.html>
- *Cenco's Selective Experiments in Physics* (SEP's) (1942-1975)
<http://www.sargentwelch.com/article.asp?ai=279>
- Chadwick, C. (2005): *¿Por qué no soy constructivista?* <http://contexto-educativo.com.ar/2004/2/nota-08.htm>
- Chalmer A. (2003): *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* ISBN: 84-323-0426-3, Editores Siglo XXI, Madrid.
- Colle de Scheemaecker, R. (2009): *Ciencias Cognitivas y Comunicación*. <http://documentosaraos.googlepages.com/ComunicacinyCienciasCognitivas.doc>

- Colombo, L. (2005): *Incidencias en las concepciones posmodernas en la enseñanza de las ciencias. Visiones de científicos destacados de las historia*. II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Córdoba. Argentina. <http://www.oei.es/ctsi8.htm>
- Comenio, J. (1998): *Didáctica Magna*. Editorial Porrúa. Octava edición. México, 1998
- Committee on Science Education Standards and Assessment, National Research Council. ISBN: 0-309-54985-X, 272, National Academies Press <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>
- Congreso Internacional de Investigación Educativa (2005): *Compromisos educativos establecidos por la Década para el Desarrollo Sostenible*. Chile
- Congress of United States (2002): *The No Child Left Behind Act of 2001* (Pub.L. 107-110, 115 Stat. 1425, enacted January 8, 2002). Proposed by the administration of President George W. Bush
- Crease, R. (2002): *The most beautiful experiment*. Physics World. Sep 1, 2002
- Crease, R. (2003): *The Newton-Beethoven analogy*. Physicsworld. Apr 1, 2003
- Crovi Druetta, D. (2004): *Sociedad de la información y el conocimiento. Entre lo falaz y lo posible*. UNAM y La Crujía Ediciones. Buenos Aires, Argentina. p. 17 – 56.
- Cumbreira, R. (2007): *El desarrollo de la actividad experimental en física general y el uso de las tics en las prácticas de laboratorio*. Revista Pedagogía Universitaria Vol. XII No. 5 2007. La Habana.
- De Mello, A. (2001): *Medicina del Alma para la superación personal*. ISBN: 9507248145 Editorial: Lumen. Buenos Aires.
- Delors, J. (2003): *La educación encierra un tesoro*. UNESCO ISBN: 84-294-4978-7 Ed. Santillana Madrid
- Deming, E. (2000): *The New Economics for Industry, Government, Education*. 2nd Edition ISBN: 0 262 5416 5. First MIT Press Edition. Cambridge, Massachusetts
- Departamento Nacional de Planeación (2006): *Fundamentar el crecimiento y el desarrollo en la Ciencia, la Tecnología y la Innovación*. ISBN: 958-8025-77-7 Grupo OP Gráficas S.A. Bogotá
- Dewey, J. (1939): *Logic, the Theory of Inquiry*. Henry Holt and Company, Inc. New York.
- Dewey, J. (1967): *Democracia y Educación*. Una introducción a la filosofía de la educación. Didáctica, Innovación y Multimedia. ISBN 1699-3748. Editorial Losada. Buenos Aires.
- Dewey, J. (1989): *Cómo pensamos*. ISBN: 84- 7509-514-3 Ediciones Paidós Ibérica. Barcelona
- Dexter, R. (1958): *The Crisis Between Science and Society: A Modern Paradox* The Ohio Journal of Science. Vol. 58 January, 1958 No. 1
- Durkheim É. (1998): *Educación y Pedagogía*. ISBN: 950-03-8382-9 Ed. Losada. Buenos Aires.
- Edgar Morin E. (2004): *Entrevista en París con Edgar Morin*. Interlocutor Nelson Vallejo Gómez. En <http://www.segciencias.com.ar/pensamiento.htm>
- Education World. Meet Bernie Dodge: *The Frank Lloyd Wright of Learning Environments*. Updated 01/07/2009. http://www.educationworld.com/a_issues/chat/chat015.shtml
- Einstein, A. (2006): *The World as I see it*. ISBN: 1599869659. Filiquarian Publishing, LLC. New York.
- Eisenkraft, A. (2007): *Improving the Laboratory Experience for America's High School Students*. USA Congressional Testimony. The Subcommittee on Research and Science Education of the House Committee on Science and Technology.
- Eisenstaedt, J. (1986) : *La relativité générale à l'étiage 1915-1955*, en Archive for History of Exact Sciences, vol. 35, 1986
- Eisner, E. (1998): *Las fuentes de la experiencia en Cognición y currículo*. Una visión nueva. ISBN 950-518-803-X ed. Amorrurtu. Buenos Aires.
- Encuentro Nacional de Calidad Educativa. Guatemala 2008. *Página del Encuentro*. <http://www.encuentrocalidadeducativa.org/programa.php>
- Engels, F. (1975): *Dialéctica de la Naturaleza*. Editorial Cartago. 1975. Buenos Aires
- España, O. (2007): *Educación y entorno social en Democracia y Educación*. Ensayos. Colección Cuadernos de Docencia. Óscadel. S. A. Guatemala.

- *Explore Magnetic Domains with the use of the INTERNET.EXPERIMENT ON-LINE* <http://physics.uwb.edu.pl/exp/domeny/exp08v3en.cgi>
- EyeThink Corporation: *Experiments from Team Labs*. Free experiments for teachers and students. <http://www.eyethinkcorp.com/resources/expmonth/expindex.asp>
- Fermi, E. (1945): *My Observations During the Explosion at Trinity on July 16, 1945* <http://www2.vo.lu/homepages/geko/atom/report.htm>
- Ferrater, J. (1961): *Diccionario de Filosofía*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires
- Feyerabend, P. (2007): *Tratado contra el método*. Editorial TECNOS, México
- Feynman, R. (1975): *Adorar a los aviones*. Lección inaugural del curso 1975-76 en Caltech, Pasadena, California.
- Fleischmann, M.; Pons, S. (1989): *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*, Journal of Electroanalytical Chemistry 261 (2A): 301–308,
- Fraden, J. (2004): *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. ISBN 0-387-00750-4. Springer-Verlag, New York.
- Franke, H. (1967): *Lexikon der Physik* Editorial Labor, Diccionario de Física. Barcelona.
- Franklin, A. (2009): *Experiment in Physics*. Stanford Encyclopedia of Philosophy
- Freire, P. (1975): *Pedagogía del Oprimido* ISBN: 978-84-323-0184-1. Editorial: Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid
- Gagné, R. (1979): *Las condiciones del aprendizaje*. ISBN 968-25-0271-3. Nueva Editorial Interamericana, México.
- Gastineau, J.; Appel, K.; Bakken, C.; Sorensen, R.; Vernier, D. (2000): *Physics whit Calculators*. ISBN: 1-929075-05-7 Published by Vernier Software & Technology. Oregon
- Georgia State University *History of U-235 Fission*. Hyperphysics.. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/nucene/fission.html>
- Georgiou, A. (2005): *Thought Experiments in Physics Problem-solving On Intuition and Imagistic Simulation*. Thesis Presented for the degree of Master of Philosophy . Faculty of Education. University of Cambridge.
- Giere, R.N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, 3rd edition. Fort Worth, TX: Holt, Rinehart and Winston. <http://www.tc.umn.edu/~giere/>, <http://www.tc.umn.edu/~giere/R&Fpubs.html>
- Gil Pérez, D. et al (2005): *Década de la educación para el desarrollo sostenible. Algunas ideas para elaborar una estrategia global*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2(1), 91-100.
- Gil S.; Rodríguez E. (2002): *Física re-Creativa. Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*. ISBN: 978-987-9460-18-4. Editorial: Prentice Hall. Buenos Aires
- Gimeno Sacristán, J.; Gómez, J. (1997): *Comprender y transformar la enseñanza*. Colección Pedagogía. ISBN 8471123738 Ediciones Morata. Madrid
- Golding, W. (1984): *El Señor de las Moscas*. Alianza Editorial, S.A. Madrid. 1984
- González, M et al (2003): *Currículo y formación profesional*. ISBN 959-261-106-8 Ed. ISPJAE. La Habana
- González, P. (martes 09 de octubre de 2007): *Extranjeros elogian labor del Mineduc en Guatemala*. El Periódico. <http://www.elperiodico.com.gt/es/20071009/actualidad/44454/>
- González, T. et al (1988): *Las sociologías del conocimiento científico*. Revista española de investigaciones sociológicas, ISSN 0210-5233, N° 43, 1988, pags. 75-124. DIALNET OAI Articles. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=249199>
- Good, T.; Brophy, J. (2000): *Psicología Educativa Contemporánea*. Ed. McGraw Hill. México.
- Gros Salvat, B. (2007): *Tendencias actuales de la investigación en docencia universitaria*. Edusfarm, revista d'educación superior en Farmàcia. Núm. 1, 2007.
- Gunstone, R.; Champagne, A. (1990). *Promoting conceptual change in the laboratory*. In E. Hegarty-Hazel (Ed.), *The student laboratory and the science curriculum*. Routledge. London.
- Gustafson E.(1954): *Fotografía durante la inauguración del Instituto de Física de Lund*. Suecia. Véase AIP Emilio Segre Visual Archives, Colección de Margrethe Bohr.
- Haber-Schaim, U. (2007): *PSSC PHYSICS: A Personal Perspective*. American Association of Physics Teachers.
- Hanks, A, Hanks, J. (1999): *Manual de Instrucción y Guía de Experimentos para Sistema Básico de Dinámica*. Modelos ME-9435A y ME-9429A de Pasco Scientific

- Hawkins, R. (2003): *Ten Lessons for ICT and Education in the Developing World*. Chapter 4 of *"The Global Information Technology Report 2001-2002: Readiness for the Networked World"* World Links for Development Program. The World Bank Institute
- Hernández, M. (1994): *El Principio de Indeterminación*. Seminario «Orotava» de Historia de la Ciencia - Año IV. Islas Canarias
- Herrera, K. (2008): *Estrategia didáctica para la elaboración y aplicación de entornos virtuales de aprendizaje en las prácticas de laboratorio de física para la educación superior*. Tesis Doctoral. La Habana. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-0748-5.
- Highet G. (1950): *The Art of Teaching*. A regular review of classic, overlooked, newly relevant, or otherwise deserving older books. N. Stix
http://www.taemag.com/docLib/20030121_book.pdf
- Himanen, P.; et al (2002). *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información*. ISBN 8423333906. Editorial Destino. Madrid.
- Himsforth H. (1986): *Scientific Knowledge and Philosophic Thought*. Baltimore y Londres. The Johns Hopkins University Press,. citado por Pérez Tamayo op cit
- Hodson, D. (1994): *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*. Revista Enseñanza de las Ciencias, 12, 299-313.
- Hodson, D. (2003): *Time for action: science education for an alternative future*. International Journal of Science Education, Volume 25, Issue 6
- Hofstein, A.; Lunetta, V. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century*. Science Education 88 (2004): 28-54.
- Hong, H.; Lin, X. (2008): *Introducing people knowledge into science learning*. Source International Conference on Learning Sciences archive Proceedings of the 8th international conference on International conference for the learning sciences - Volume 1. ISSN:1573-4552 Utrecht, The Netherlands.
- Hu, W. (2007): *Seeing No Progress, Some Schools Drop Laptops*. The New York Times. Published: May 4, 2007
- Hume, D. (1993): *An Enquiry Concerning Human Understanding* (1772). Chapter on Cause and Effect. Hackett Publ. Co. London.
- Jacob B. A. et al (2003): *Catching Cheating Teachers: The Results of an Unusual Experiment in Implementing Theory*. http://muse.jhu.edu/login?uri=/journals/brookings-wharton_papers_on_urban_affairs/v2003/2003.1jacob02.pdf
- Jarret, D. (1997): *Science and Mathematics for All Students. It's Just Good Teaching*. A publication by the Science and Mathematics Education Unit in cooperation with the Center for National Origin, Race, and Sex Equity. Inquiry Based Science.
- Jenkins, E. (1996): *The "nature of science" as a curriculum component*. Journal of Curriculum Studies, 28, 137-150.
- Johnson, G. (2002): *Here They Are, Science's 10 Most Beautiful Experiments*. The New York Times. Ed. 2002/09/24
- Josephsen, J. (2003): *Experimental training for chemistry students: does experimental experience from the general sciences contribute?* Chemistry Education: Research and Practice. 2003, Vol. 4, No. 2, pp. 205-218
- Joyce, B.; Weil, M. (1985): *Los Organizadores Previos: mejorar la eficacia del estudio y de otros modos de presentación de información*. En Modelos de Enseñanza. Editorial Anaya. Madrid.
- Juan 2.17 *La Santa Biblia*, Reina Valera, 1960
- Kasuga, C. (2007) *Los aspectos más importantes de la cultura empresarial japonesa*. Presentación de la Primera Convención Nacional de Emprendedores Universitarios. <http://www.ingenieria.uady.mx/webiblioteca/IntroIng/Japon/CambiodeActitud.pdf>
- Kemeny J. G. (1959): *A Philosopher Looks at Science*, p. 3-37 Van Nostrand. ISBN: 0-442-04324-4, New York.
- Kolb, D. (1984): *Experiential learning*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. Página de Kolb sobre Experience Based Learning Systems, Inc. 1984. <http://serc.carleton.edu/.../enviroprojects/what.html>.
- Kolb, A., Kolb, D. (2005): *Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education*. Academy of Management Learning & Education, 2005, Vol. 4, No. 2, 193-212

- Kuhn, T. (1961): *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Octava reimpression (FCE, Argentina), 2004
- Kühne, U. (2005): *Die Methode des Gedankenexperiments*, Suhrkamp, Frankfurt, Reseña de Ortiz de Landázuri SIBF Vol IX. Junio de 2007 ISSN: 1885-3617
- Lakatos, I. (1978): *La metodología de los programas de investigación científica*. ISBN: 84-206-2349-0. Ed. Alianza Editorial, S. A., Madrid.
- Lamo de Espinosa, et al. (1994): *La sociología del conocimiento y de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid.
- Lasry, N.; Finkelstein, N.; Mazur, E. (2009): *Are Most People Too Dumb for Physics?* DOI: 10.1119/1.3225498. The Physics Teacher. Vol. 47, October 2009.
- Laudan, L. (1987): *Relativism, Naturalism and Reticulation*. Synthese, 71. 1987
- Lederman N. et al (2000): *Standard for Education of Science Teachers: The Nature of Science 2000*; <https://www.msu.edu/~dugganha/NOS.htm>
- Lederman, N.G. (2007): *Nature of Science: Past, Present, and Future*. En Abell S.K. & Lederman N.G. (Editores), *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Elbaum Associates. London.
- Leman Stefanovic, I. (2005): *Challenging Traditional Academic Borders through Interdisciplinarity*, Limina: Thresholds and Borders, A St. Michael's College Symposium, Joseph Goering, Francesco Guardianiani, Giulio Silano eds., Ottawa: Legas, 2005:197.
- Levy, P. (1999): *¿Qué es lo virtual?* ISBN: 84-493-0585-3. Ed. Paidós. Barcelona.
- Leybold Didactic (2001): *Catalogue of Physics Experiments*. Edited by Leybold Didactic GmbH. Germany.
- Lonergan, B. (2004): *Insight. Estudio sobre la Comprensión Humana*. Ediciones Sigueme y UIA, México.
- López Cerezo, J. A. (2006): *Diplomado en CTS. Introducción a la Noción de Ciencia*. Universidad de Oviedo. Oviedo.
- López, F. et al (2006): *Las Matemáticas en el Antiguo Egipto*, en *La Tierra de los Faraones* www.egiptologia.org
- López, M. (2000): *Comprender para comprendernos. Una reflexión a partir de Insight de Bernard Lonergan*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, Vol XXX, núm 4. 2000. México.
- Lucrecio (S I ane) [1] *De rerum natura*. lib VI p 250
- Maienschein, J. (2004): *Laboratories in Science Education: Understanding the History and Nature of Science*. The National Academies Press (NAP). Washington, D.C.
- Makarenko, A. (2000): *Poema Pedagógico*. ISBN: 9686136606 Ediciones Quinto Sol. México.
- Marco Stiefel, B. (2005): *La Naturaleza de la Ciencia, una asignatura pendiente en los enfoques CTS*. En *Retos y perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI* editado por Pedro Membiela y Yolanda Padilla (Editores). Educación Editora. ISBN 84-689-3283 -3. Madrid. <http://www.oei.es/ctsi49.htm>
- Martí, J. (1895): *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 5, p. 195.
- Martí, J. (1895): *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 5, p. 468. GVDLCDC.
- Martí, J. (1895): *Obras completas*. La Habana, Editorial Nacional, 1963-1973, tomo 20, p. 218.
- Mazur, E. (2010): *Interactive Learning Toolkit: Technology in the Classroom*. Universidad del Valle de Guatemala. 30 de enero de 2010. <http://mazur-www.harvard.edu>
- Mayr, E. (1991): *Una Larga Controversia: Darwin y el Darwinismo*, Barcelona: Crítica, Citado por López et al (op cit).
- McKnight, D.; Robinson, C. (2006): *From technology to technism: A critique on technology's place in education*. THEN: Technology, Humanities, Education, & Narrative. Issue No. 3, 2006.
- Mc Kinstry, D. (2007): *Knowledge_or_Certainty_Final.wmv* <http://dmmsw.org/Classfiles/Physics115/Videos/>

- Medawar, P. (2009): *Induction and Intuition in Scientific Thought*. Citado en Scientific Method and Philosophy of Science. Rohilla Shalizi C. <http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/scientific-method.html>
- Meisner, G., Hoffman, H., Turner, T.: *Learning Physics in a Virtual Environment: Is There Any?* Latin America Journal of Physics Education. Vol. 2, No. 2, May 2008
- Mejía, B.: *El rol del docente ante las demandas de formación del profesional de la CEE*. Conferencia impartida en la Universidad Rafael Landívar, Ciudad Guatemala. Julio 2009.
- Méndez, C. (30-08-2008): *Compromisos con la calidad educativa*. Prensa Libre. Véase <http://www.prensalibre.com/pl/2008/agosto/30/260501.html>
- Merrill, K. (2008): *Historical Dictionary of Hume's Philosophy* P299 ISBN-13: 978-0-8108-5361-4 Scarecrow Press, Inc. USA 2008
- Merton, R. (1942): *The Ethos of Science en On Social Structure and Science*. Heritage of Sociology Series. Editor: Sztompka, P. The University of Chicago Press. On GB. ISBN 0-226-52071-4. 1996
- Merton, R. (1977): *La sociología de la ciencia, investigaciones teóricas y empíricas*. Colección de ensayos publicados entre 1938 y 1972. Ed. Alianza, Madrid
- Merton, R., Sztompka, P. (1996): On social structure and science. Heritage of Sociology Series. The University of Chicago Press. ISBN 0-226- 52071-4.
- METAS EDUCATIVAS 2021 (UNESCO / OEI, 2008)
- Meza, S. et al (1999): *Propuesta de Implementación de Laboratorio Virtual en Física* UNNE, Argentina. www1.unne.edu.ar/cyt/humanidades/h-013.pdf
- Millar et al (2000): *Improving Science Education: The Contribution of Research*. Robin Millar, John Leach y Jonathan Osborne (editors), ISBN 0 335 20645 X Open University Press, Buckingham y Philadelphia.
- Millar, R. (2004): *The role of practical work in the teaching and learning of science*. University of York. Paper prepared for the Meeting: High School Science Laboratories: Role and Vision National Academy of Sciences, Washington, DC. June 2004
- MINEDUC (2006): *Estándares Educativos para Ciencia Naturales y Tecnología*. Ciclo Básico. USAID.
- MINEDUC *Programa Abriendo Futuro* <http://www.mineduc.gob.gt/abriendofuturo/index.php>
- Misiunas, G. et al (1975): *Experimentos demostrativos en la enseñanza de la Física*. Instituto Cubano del Libro. Ed. Pueblo y Educación. La Habana.
- Moore, G. (1965): *Cramming more components onto integrated circuits*. Electronics, Volume 38, Number 8, April 1965
- Moore, J. (1988). *Teaching the sciences as liberal arts –which, of course, they are*. Journal of College Science Teaching, 17, 445). Citado por Millar (2009)
- Morin, E. (1983). *El método II. La vida de la vida*. Ediciones Cátedra, S.A. Madrid.
- Morin, E. (2001): *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. ISBN: 950-602-422-7. Ed. Nueva Visión. Buenos Aires.
- Morin, E. (2007): *Entrevista con Édgar Morin*. Universia. Artículos de Educación Superior. <http://www.universia.net.co/docentes/articulos-de-educacion-superior/entrevista-con-edgar-morin.html>
- NASA (2005): *Making a Deep Impact*. <http://solarsystem.nasa.gov/deepimpact/mission/factsheet-postencounter.pdf>
- National Academy of Sciences, Committee on Science Education Standards. (1996) *National Science Education Standards* ISBN 0-309-05326-9. Washington.
- National Education Association (1894): *Report of the committee of ten on secondary school studies with the reports of the conferences arranged by the committee*. American Book Company. New York.
- National Research Council (2006): *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, Editors: S.R. Singer, M.L. Hilton, and H.A. Schweingruber. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education: The National Academies Press. Washington, DC
- National Research Council. (1996): *National Science Education Standards*. National Academy Press. Washington, DC.

- Newton I. (1713): *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica General Scholium*. http://www.isaacnewton.ca/gen_scholium/scholium.htm
- Newton, L. (1990): *Overconfidence in the Communication of Intent: Heard and Unheard Melodies*. Unpublished doctoral dissertation (Stanford, CA: Stanford University). Comentada por Chip Heath en 2003: Loud and Clear, Crafting messages that stick—What nonprofits can learn from urban legends: Stanford Social Innovation Review.
- NTNUJAVA *Virtual Physics Laboratory*. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>
- NASA OWN <http://mo-www.harvard.edu/OWN/>
- NFSTP, 2009: *Nuffield Foundation Science Teaching project*. www.nuffieldcurriculumcentre.org
- Núñez, J. (1999): *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. Sala de lectura CTS+I Ciencia, tecnología, sociedad e innovación Organización de Estados Iberoamericanos. <http://www.oei.es/salactsi/nunez06.htm>
- Olivé, L. (2009): *¿Hasta qué punto los ciudadanos deben “saber”?*. Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica. Organización de Estados Iberoamericanos. <http://www.oei.es/divulgacioncientifica/index.php> Última verificación de consulta: 3/11/09
- Optics <http://optics.phys.spbu.ru/~Arkipov/links/#TOP>
- Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) (2003): *Renovación de Ideas y Formulación de Estrategias Tendientes al Fortalecimiento de Políticas de Formación Docente*. XIII Conferencia Iberoamericana de Educación. Bolivia.
- Organización de Estados Iberoamericanos *Ciencia, tecnología, sociedad e innovación*. <http://www.oei.es/salactsi/nunez06.htm>
- Ortega-Zarzosa, G., Medellín-Anaya H., Martínez, J. R.: *Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando un laboratorio virtual de física*. Revista Cubana de Física. Vol.17, No. 1-2, 2000.
- Osborne, J. (2004). *Science and Technology: What to teach?* In M. Michelini(ed.) *Quality Development in Teacher Education and Training*(pp. 69-84). Udine: Forum. Citado por Millar (2009)
- Osborne, J. (2009): *What School Science for K-8?* The Board on Science Education (BOSE). National Academy of Sciences (NAS). Washington, D.C.
- Palermo, J. (2000): *Reading Mann and Cubberley on the Myth of Equal Educational Opportunity: A Barthesian Critique*. Philosophy of Education.
- Pérez, O. (2001): *El uso de experimentos en tiempo real: estudios de casos de profesores de Física de secundaria*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Pérez, R. (1998): *¿Existe el Método Científico? Historia y realidad*. COLEGIO NACIONAL Y FONDO DE CULTURA ECONÓMICA ISBN 968-16-5658-X. México.
- PHYWE (1999): *Laboratory Experiments*. Phywe Systeme GmbH. Editor: Dr. Ludolf von Alvensleben, Göttingen, Germany.
- Piaget, J. (1999): *De la Pedagogía*. ISBN: 950-12-2142 -3 Editorial Paidós. Buenos Aires.
- Platón: *Sócrates en Teeteto* <http://www.paginasobrefilosofia.com/html/Teeteto/Textos/texto1ªparte.html>
- Popper K. R. (1973): *La lógica de la investigación científica* Editorial: Tecnos, Madrid.
- Popper K. R. (1991): *Conjeturas y refutaciones: El desarrollo del conocimiento científico* ISBN: 84-7509-146-6 Editorial Paidós. Barcelona.
- Posner, G. (1998): *Análisis de Currículo*. ISBN: 958-600-891-6. Ed. McGraw-Hill. Colombia.
- Praia J. (1997): *Lab work in teaching Geology: critical reflection and epistemologic didactic bases*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (5.2), 95-106 ISSN: 1132-9157.
- Prensky, M. (2001): *Digital Natives, Digital Immigrants*. On the Horizon. MCB University Press, Vol. 9 No. 5, October 2001
- Prensky, M. (2005): *Adopt and Adapt*. 21st-Century Schools Need 21st-Century Technology http://www.edutopia.org/magazine/ed1/article.php?id=Art_1423&issue=dec_05
- Prigogine, I. (1996): *El Fin de las Certidumbres* ISBN: 956-13-1430-4 Editorial: Andrés Bello. Santiago de Chile

- Prigogine, I. y Stengers, I. (2002): *La Nueva Alianza: Metamorfosis de la Ciencia* Editorial Alianza. Madrid.
- Pylyshyn Z. (1986): *Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Quevedo, F. (2008): *Incurción en la Dimensión Desconocida: El mundo de la Física Subatómica*. CONVERCIENCIA 2008, Guatemala.
http://www.concyt.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=199
- Rand, A. (2004): *La Rebelión de Atlas*. ISBN 9872095132 Editorial: Grito Sagrado. Madrid.
- Ravetz, J. (2005): *No-nonsense Guide to Science*, London: New Internationalist Publications & Verso, 2005:26-27.
- Reinchenbach, H. (2006): *Experience and prediction: an analysis for the foundations and the structure of knowledge*. Chicago: University of Chicago, 1938. Citado por Speltini et AL: *Ciência E Educação*, v. 12, n. 1, p. 1-12,
- Reynolds, L. (viernes 31 de julio de 2009) *El país tiene más teléfonos celulares que habitantes*. El Diario. <http://www.elperiodico.com.gt/es/20090731/economia/108918>
- Rosenblueth, A. (1988): Citado por Pérez Tamayo, Ruy: *¿Existe el Método Científico?* Historia y realidad. ISBN 968-16-5658-X Fondo de Cultura Económica. México.
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/161/html/sec_59.html
- Rosental, M.; Iudin P. (1965): *Diccionario soviético de filosofía*. Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo 1965
- Rusbult, R. (2007): *A Detailed Examination of Scientific Method*.
<http://www.asa3.org/ASA/education/think/science.htm>
- Russell Hanson, N. (2002): *Seeing and seeing as*. En *Philosophy of Science*. Contemporary reading. ISBN 0-415-25781-6, Editado por Balashov y Rosenberg, New York.
- Russell, B. (1998): *Sobre Educación, especialmente en los años infantiles*. ISBN 84-239-7448-0. Editorial Espasa Calpe. Madrid.
- Russell, B. (2002): *On induction. The problem of Philosophy* (1912) En *Philosophy of Science*. Contemporary reading. ISBN 0-415-25781-6, Editado por Balashov y Rosenberg, New York
- Sagan, C. (1980): *Cosmos*. ISBN 0-345-33135-4. First Ballantine Books Edition. New York.
- Sagan, C.; Druyan, A. (1995): *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. The Random House Publisher Group. New York.
- Salinas, J.: *El vínculo entre teoría y realidad en las aulas de Física. Dificultades de estudiantes universitarios en Electricidad*. Ponencia presentada en la Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física. Comisión Internacional de Educación en la Física (ICPE) 2006
- Sanchez Silva D. (2009): *Andrés Vesalio y Leonardo da Vinci. Dos artistas viendo al hombre durante el renacimiento*,
<http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/555/6/Andres-Vesalio-y-Leonardo-da-Vinci.-Dos-artistas-viendo-al-hombre-durante-el-renacimiento>
- Savater, F. (1999): *¿De qué sirve la ética para los jóvenes?* La educación es el momento adecuado de la ética... Acto de Conferimiento del Doctorado Honoris Causa. Jueves 29 de octubre de 1998. En *Ética y ciudadanía*, Caracas: Monte Ávila, 1999.
<http://www.xtec.cat/~cciscart/annexos/savateretica.htm>
- Savater, F. (2007): *El Valor de Educar*. ISBN 978-84-344-4469-0. Ed. Ariel, S. A. Barcelona.
- Savater, F. (2008): *Las Preguntas de la Vida*. ISBN: 9788434453630. Editorial Ariel. España
- Schön, J. H., Ch. Kloc and B. Batlogg. (2000): *Superconductivity at 52 K in hole-doped C60*. *Nature* 408, 549-552
- Schwartz, M., Hazari, Z, Sadler, P. (2008): *Divergent Views: Teacher and Professor Perceptions About Pre-College Factors That Influence College Science Success*. *Science Educator*, Spring 2008 Vol. 17, No. 1
- Shamoo, A.; Resnik, D.(2003): *Responsible conduct of research* ISBN 0-19-514846-0
- Shepard, R. (1982): *Mental images and their transformation*. Cambridge. MA: MIT Press.

- Siano, B. (1999): *Blue Smoke, Mirrors, and Designer Science: How the Public Relations Industry Compromises Democracy*. Skeptic magazine, Vol 7, No. 1.
- Sierra Bravo, R. (1985): *Tesis doctorales y trabajos de investigación científica*. ISBN 84-9732-138-3. Editorial PARANINFO. Madrid.
- Singer, S. (2005): *Needing a New Approach to Science Labs*. Science Teacher, V72 n7 p10 Oct 2005
- Singh, S. (2005): *Big Bang: The Origin Of The Universe*. Fourth Estate. ISBN 0-00-162200
- *Sistema Básico de Dinámica*. Modelos ME-9435A y ME-9429A de Pasco Scientific.
- Snow, C. (1993): *The Two Cultures*. Cambridge University Press
- Sobel, M. (2009): *Physics for the non-scientist: A middle way*. DOI: 10.1119/1.3204113. The Physics Teacher. Vol 47, September 2009.
- Sokal, A. (1996): *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*. Social Text Spring/Summer.
www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/transgress_v2/transgress_v2_singlefile.html
- Sokal, A. (1998): *Entrevista*, Revista Ciencia Hoy Volumen 8 - N°47 - Julio/Agosto 1998
- Stanford Encyclopedia of Philosophy (2007): *Thought Experiments*. First published Sat Dec 28, 1996; substantive revision Sun Mar 25, 2007
- Suger, E. (2009): *Sólo la educación nos transformará*. Prensa Libre septiembre 23 de 2009. <http://www.prensalibre.com/pl/2009/septiembre/23/343472.html>
- Taba, H. (1974): *Elaboración del currículum*. Ed. Troquel, Buenos Aires.
- Tarkovski, A. (1991): *El arte como ansia de lo ideal* en *Esculpiendo en el tiempo*, Editorial Rialp, Madrid.
- Tate, W. (1994): *Race, retrenchment, and the reform of school mathematics*. Phi Delta Kappan, 75(6), 477-484.
- Tedesco, J. (1999): *El Nuevo Pacto Educativo*. ISBN: 84-207-6613-5. Grupo Anaya, S. A. Madrid.
- Terliesty, Y. (1971): *El sentido del tiempo*, el principio de la causalidad y el segundo principio de la termodinámica; en *Física Estadística*. Ediciones de Ciencia y Técnica. La Habana.
- The Center for Science and Mathematics Teaching. <http://ase.tufts.edu/csmt/html/about.html>
- The Committee on Social, Report by. Aspects of Science (Pigman et al., 1957). New York meeting of the American Association for the Advancement of Science, December, 1957
- Theocharis T. ; Psimopolous M. (1987): *Where Science has Gone Wrong*, Nature 329: 595-598, 1987.
- Thomas, J. W. (2000): *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation. San Rafael, CA
- Thompson, J. (1990): *Interdisciplinarity: History, Theory and Practice*, Detroit: Wayne State University Press, 1990: 21, discussed in Ingrid Leman Stefanovic *Challenging Traditoinal Academic Borders through Interdisciplinarity*, *Limina: Thresholds and Borders*, A St. Michael's College Symposium, Joseph Goering, Francesco Guardianiani, Giulio Silano eds., Ottawa: Legas, 2005:197.
- Thornburg, D. (2007): *Have We Hit A "Sputnik" Moment Again?* <http://www.tcse-k12.org/pages/sputnik.pdf>
- Tiberghien, A. (1996): *Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy*. In Welford, G., Osborne, J. and Scott, P. (eds.), *Research in Science Education in Europe*. Current Issues and Themes Falmer Press. London.
- Times Higher Educational Supplement http://www.simonsingh.net/1919_Eclipse.html
- Thorndike, E.: *Connectionism*. <http://tip.psychology.org/thorn.html>
- Travers, R. (1971): *Introducción a la Investigación Educativa*. Ed. Paidós, Buenos Aires.
- Tyler R. (1969): *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. The University of Chicago Press. ISBN: 0 -226 -82031- 9 Chicago.
- Uhia, F. (2008): *El Síndrome Charles Montgomery Burns*. http://esferapublica.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=170&Itemid=53
- Unda, M. (26-08-2008) *Buscan mejorar calidad educativa*. Siglo 21. La cita puede verse en <http://www.sigloxxi.com/noticias/22680>

- UNESCO-OIE (2005): *Iniciativas de la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible* (2005-2014), <http://www.oei.es/decada/>
- Universidad de York (2009): “*Twenty First Century Science*” The University of York. Science Education Group. <http://www.21stcenturyscience.org/>
- Valdés, R., Valdés, P. (1994): *Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (3), 412-415.
- Vázquez, A. et al (2007): *Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: la comunidad tecnocientífica*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, Nº 2, 331-363 (2007)
- Vázquez, A. et al (2001): *Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176. En Sala de Lecturas CTS+I de la OEI, 2003. <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo20.htm>
- Villarreal, B. (2009): *Acerca de la Educación*. Oscadel S.A. Guatemala.
- Vygotsky L. (1987): *The Collected Works of Vygotsky*. The Historical Meaning of the Crisis in Psychology: A Methodological Investigation; Chapter 6, Plenum Press. <http://www.marxists.org/archive/vygotsky/works/crisis/index.htm>
- Wagensberg J. (2004): *Si la naturaleza es la respuesta ¿Cuál era la pregunta?* §40 ISBN: 84-8310-847- X Tusquets Editores Barcelona
- Weiss, I. (1987): *Report of the 1985-86 National Survey of Science and Mathematics Education*. (Research Triangle Park, NC Research Triangle Institute. Citado en U.S. Congress, Office of Technology Assessment, (1988): *Elementary and Secondary Education for Science and Engineering-A Technical Memorandum, OTA-TM-SET-41* Washington.
- Westwood, P (2008): *What teachers need to know about teaching methods*. ISBN: 9780864319128. Ed. ACER Press. Victoria, Australia
- White, R.; Gunstone, R. (1992): *Prediction - Observation – Explanation*. Chapter 3 in *Probing Understanding*. The Falmer Press, London.
- Whitehead, A. (1967): *The aims of Education and Other Essays*. ISBN 0 02 935180-4 The Free Press N.Y.
- Wilson, J.; Hernández, C. (2009): *Physics Laboratory Experiments* ISBN-13: 978-0618382590. Ed. Brook Cole. Boston.
- Wittgenstein L. (1998): *Investigaciones filosóficas*. Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM. ISBN 84-7423-343-7. México.
- Zabalza, M.: *¿Podemos hablar de una docencia universitaria de calidad? Una propuesta de criterios para la mejora de nuestra enseñanza universitaria*. Universidad de Santiago de Compostela. <http://www.pucmm.edu.do/RSTA/Academico/TE/Documents/iu/duc.pdf> apdlup
- Zbar, P.; Rockmaker, G.; Bates, D.; Ferrett, S. (1999): *Basic Electricity: A Text-Lab Manual*. ISBN10: 0078212758. McGraw-Hill. New York. ily