



Ciencia e Ingeniería en la Formación de ingenieros para el siglo **XXI**

Fundamentos, estrategias y casos

Autores:

Álvaro Galvis	Wiston Salem U., EEUU
Erik de Graaff	DELFF, Holanda
Mark Steiner	ARPI, EEUU
Kevin Passino	Ohio State U., EEUU
Jorge Finke	Ohio State U., EEUU
María Araceli Ruiz-Primo	CU Denver, EEUU
Jerry Pine	Caltech, EEUU
Hans Peter Christensen	DTU, Dinamarca
Catalina Ramírez	Universidad de Los Andes, Colombia
Mauricio Duque	Universidad de Los Andes, Colombia
Nicanor Quijano	Universidad de Los Andes, Colombia
José Tiberio Hernández	Universidad de Los Andes, Colombia
Jaime Plazas	Universidad de Los Andes, Colombia
Germán Hernández	Universidad Nacional de Colombia
Julio Colmenares	Universidad Nacional de Colombia
Freddy Vargas	Universidad Nacional de Colombia
Paulo Guatame	Universidad Nacional de Colombia
Joan Larrahondo	Universidad Nacional de Colombia

Edición
Mauricio Duque
Universidad de Los Andes

**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA - ACOFI -**

Carrera 68D N°. 25B - 86 oficina 205
Edificio Torre Central, Bogotá D.C. - Colombia, Suramérica
PBX: + 571 427 3065
acofi@acofi.edu.co • www.acofi.edu.co

CONSEJO DIRECTIVO DE ACOFI

Presidente

Francisco Javier Rebolledo Muñoz *Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

Vicepresidente

Adolfo León Arenas Landínez *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*

Consejeros

Javier Páez Saavedra *Universidad del Norte, Barranquilla*
Elkin Libardo Ríos Ortiz *Universidad de Antioquia, Medellín*
Héctor Vega Garzón *Universidad de La Salle, Bogotá*
Alberto Ocampo Valencia *Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira*
Pedro Guardela Vásquez *Universidad de Cartagena, Cartagena*
Diego Fernando Hernández Losada *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá*
Hugo Ospina Cano *Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín*

Director Ejecutivo

Eduardo Silva Sánchez *Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá*

Universidad de Los Andes

Edición
Mauricio Duque

ISBN: 978-958-680-059-4
Septiembre de 2008
Impreso en Colombia

Ilustraciones de portada e interiores
Carlos Arturo Robles Ayala

Diseño e impresión
Opciones Gráficas Editores Ltda.
www.opcionesgraficas.com

Las opiniones expresadas en este libro no son necesariamente las de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ni las de la Universidad de Los Andes.

Presentación

Tabla de contenido

Introducción	1
SECCIÓN UNO: CAMINOS Y OBJETIVOS PARA EL APRENDIZAJE	11
Principios para la enseñanza compatibles con el aprendizaje <i>Mauricio Duque, Universidad de los Andes, Colombia</i>	11
1. La máquina biológica que aprende	12
1.1 La complejidad	12
1.2 La flexibilidad	13
1.3 El funcionamiento: pc vs red	13
1.4 La funcionalidad central, la detección de patrones	14
2. El aprendizaje visto desde la ingeniería	15
3. Por qué las prácticas tradicionales presentan problemas: principios para la práctica docente	17
3.1 Sentido y significado	20
3.2 Nuestros sentidos y el sentido de la información	21
3.3 Los ritmos y los estilos de aprendizaje	22
3.4 El contexto de aprendizaje	23
3.5 La práctica autónoma, pero guiada	24
3.6 La comprensión y la transferencia	24
3.7 El aprendizaje deja huella	25
3.8 De lo simple a lo complejo, de lo fácil a lo difícil	27
3.9 Sin realimentación el aprendizaje no resulta	28
3.10 Evaluando a menudo, calificando poco	28
3.11 Aprender a aprender o la meta cognición	29
4 Bibliografía	30
De las competencias a los objetivos educativos <i>Hans Peter Christensen, DTU, Dinamarca</i>	32
1. What to learn	32
1.1 Engineering science	32
1.2 Competence	34
1.3 Learning objectives	37
2. Example	42
3. Appendices	43
3.1 Appendix 1	43
3.2 Appendix 2	44
3.3 Appendix 3	44

3.4 Action words according to Bloom	44
4 References	45
Objetivos de los programas de formación de ingeniería	47
<i>Germán Hernández y Julio Colmenares, Freddy Vargas, Joan Larrahondo, Paulo Guatame, Universidad Nacional, Colombia</i>	
1 Introducción	47
2 De la formación por contenidos a la formación por competencias	49
3 Propuesta de objetivos de formación en ingeniería	50
3.1 ICFES, ACOFI & ECAES	51
3.2 ABET & NAE	54
3.3 TUNING PROJECT & FEANI	56
3.4 Brasil - PROVÃO	59
4 Computación en Georgia Tech	61
5 ¿Qué competencias debe desarrollar un ingeniero que se forme en Colombia para estar acorde con las demandas del siglo XXI?	64
6 Observaciones finales	66
7 Referencias	67
SECCIÓN DOS:	
ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA INGENIERÍA	69
De la actividad al aprendizaje activo	69
<i>Hans Peter Christenses, DTU, Dinamarca</i>	
1 How to learn	69
1.1 Learning basics	69
1.2 An active learning process model	72
2 How to teach	77
2.3 Planning a teaching sequence	85
2.4 Examples: Learning for necessity – Just-in-time teaching	89
3. References	91
Aprendizaje basado en problemas en ingeniería	93
<i>Erik de Graaff, Delft, Holanda</i>	
1 Introduction	93
2 The roots of pbl	93
3 A process model to describe dimensions of PBL	95
4 Using the dimensions to differentiate curriculum-models	97
5 Examples of pbl and project organised learning	99
6 Types of projects	100
7 Considerations at the implementation of pbl in engineering	100
8 References	101
9 Appendix i: case the brent spar	103

Aprendizaje en ingeniería basado en proyectos, algunos casos <i>Mark Steiner, ARPI, EEUU; Catalina Ramírez, José Tiberio Hernández, Jaime Plazas, Universidad de los Andes, Colombia</i>	104
Introducción	104
1. Un marco de investigación CDIO (concebir-diseñar-implementar- operar)- C. Ramírez	104
1.1 Avances científicos y tecnológicos	105
1.2 La internalización	106
1.3 El desarrollo de habilidades y actitudes en los estudiantes de ingeniería	106
2. Concebir – aprendizaje basado en proyectos : el caso de expoandes en la facultad de ingeniería de la universidad de los andes (C. Ramírez)	107
3. Diseñar - aprendizaje basado en proyectos: el caso de proyecto de innovación con ti en ingeniería de sistemas y computación e ingeniería industrial (C. Ramírez y JT. Hernández)	110
3.1 Formulación del Proyecto	112
3.2 Primera Presentación del Proyecto: Afiche	112
3.3 Segunda Presentación del Proyecto: Afiche y Prototipo	112
3.4 Tercera Presentación del Proyecto: Muestra Pública UniAndes	112
3.5 Cuarta Presentación: Concurso de Selección	112
4. Implementar – aprendizaje basado en problemas: el caso del proyecto de innovación comunitaria en ingeniería ambiental e ingeniería industrial (C. Ramírez y JP. Plazas)	113
5. Operar - project based learning: multidisciplinary experience. preparing young engineers to enter today’s workforce using real world multidisciplinary design experiences (M. Steiner)	115
6. Conclusiones generales	119
7. Referencias	120
 SECCIÓN TRES: LA TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN	 121
La indagación y el diseño en los laboratorios <i>Mauricio Duque, Universidad de los Andes, Colombia</i>	121
1. Razones para estructurar laboratorios desde una perspectiva de indagación	122
2. Tipos de conocimiento que se pueden promover en las prácticas	123
3. Qué implica aprender indagando	124
3.1 Constituyentes de la indagación	125
3.2 Facetas involucradas en la indagación	126
3.3 Estrategias didácticas que facilitan la indagación	127
4. Algunos lineamientos para desarrollar laboratorios por indagación	128
4.1 Definición de los objetivos educacionales	128

4.2	La trama, el camino de aprendizaje, las actividades	129
4.3	Las preguntas, raíz de la indagación	129
4.4	Descripción breve de la sesión	130
4.5	Características de una actividad de indagación	130
5.	Unas últimas palabras	131
6.	Bibliografía	131
ZAP!, Experimentos en electricidad para los estudiantes realizados en sus casas		133
<i>Jerome Pine, Caltech, EEUU</i>		
1.	Introduction	133
2.	The experiments	134
3.	Conclusion	136
4.	References	137
Laboratorios de bajo costo		140
<i>Nicanor Quijano, Universidad de los Andes, Colombia; Jorge Finke y Kevin Passino, Ohio State University</i>		
1.	Introduction	140
2.	Inexpensive control labs	141
2.1	The Balls-in-Tubes Experiment	142
2.2	The Electromechanical Arcade Experiment	144
2.3	The Multizone Temperature Control Experiment	146
2.4	Embedding Low Cost Experiments into Academic Curricula	147
3	Service learning project	148
4	Conclusions	149
5	References	150
La piola y el desarrollo profesional docente con el apoyo de TIC		153
<i>Alvaro Galvis, Universidad estatal de Wiston Salem, EEUU</i>		
1.	Presentación	153
2.	Las TIC en educación	153
3.	La piola: un acrónimo para entender las TIC en educación	155
4.	P: TIC para mejorar la productividad individual	156
4.1	Herramientas para apoyar comunicación basada en textos	156
	Herramientas para mejorar la comunicación escrita	156
	Herramientas para aprender a digitar	157
	Herramientas para manejar citas y referencias bibliográficas	157
4.2	Herramientas para apoyar procesamiento de datos	158
	Herramientas para apoyar el cálculo y análisis de datos numéricos	158
	Herramientas para administrar bases de datos	158
	Herramientas para hacer análisis estadístico de datos	159
4.3	Herramientas para apoyar la expresión gráfica	159
	Herramientas para procesamiento gráfico	159

Herramientas para hacer presentaciones multimedia	160
4.4 Herramientas para procesamiento de datos multimedia	161
Herramientas para procesamiento de video y sonido digital	161
Herramientas para elaborar portafolios digitales	161
4.5 Herramientas para compartir en la red nuestra producción	162
5. I: TIC para mediatizar la interacción con otros individuos o con grupos	163
5.1 Herramientas para interactuar asincrónicamente	163
5.2 Herramientas para interactuar sincrónicamente	169
Sistemas de mensajería instantánea	169
Sistemas para hacer videoconferencias digitales	171
6. O: TIC para apoyar exploración conjetural de objetos de estudio	172
6.1 Manipulativos digitales para apoyar aprendizaje por exploración y conjetura	173
6.2 Aprendizaje por exploración y conjetura	175
6.3 Qué hace la diferencia en el uso innovador de TIC	179
7. L: TIC para apoyar labores educativas	181
7.1 Construcción de mapas conceptuales	182
7.2 Construcción de mapas de causa-efecto	182
7.3 Construcción y exploración de modelos matemáticos	183
7.4 Construcción y exploración de simulaciones y juegos	184
7.5 Acerca de la PIOL y de la A	185
8. TIC para ampliar el acervo cultural, científico y tecnológico	185
8.1 Motores de búsqueda y navegación por etiquetas digitales	186
8.2 Enciclopedias digitales	187
8.3 Servicios de información digital por demanda	189
8.4 Diccionarios, traductores y tesauros	189
8.5 Portales educativos	190
8.6 Recorridos digitales por museos y colecciones	193
8.7 De la P a la A de la PIOLA y la formación en TIC de educadores	195
9. Referencias	195
10. Acerca del autor	197

SECCIÓN CUATRO:

CÓMO SABER CÓMO VAMOS - LA EVALUACIÓN 199

Evaluando las innovaciones instruccionales en la enseñanza de la ingeniería 199

*María Aracely Ruiz-Primo, Universidad de Colorado, Denver, EEUU; con**Derek Briggs, Lorrie Shepard, Heidi Iverson, & Marie Huchton,**Universidad de Colorado, Boulder, EEUU*

1. Introducción 199

2. Un marco conceptual y metodológico para evaluar la evidencia de la eficacia de las innovaciones instruccionales 201

2.1 Dimensión Conceptual 204

2.2 Dimensión Metodológica.	206
3. Caracterización de innovaciones instruccionales en la enseñanza de la ciencias	211
3.1 Tareas Orientadas Conceptualmente	211
3.2 Aprendizaje Colaborativo	214
3.3 Tecnología	215
3.4 Proyectos Basados en Indagación	216
4. Analizando reportes de innovaciones instruccionales	216
4.1 Métodos para Colectar y Codificar los Estudios	217
4.2 Resultados Preliminares	218
4.3 Características Metodológicas	221
5. Hacia el mejoramiento del diseño, implementación, y evaluación de innovaciones educativas en la enseñanza de la ingeniería	222
6. Referencias	225

Introducción

No parece posible responder a estas alturas, de forma contundente, si las innovaciones que se han venido desarrollando en la educación de ingenieros han tenido éxito, si efectivamente funcionan.

Desde hace un par de décadas, un número creciente de experiencias y prácticas de aula innovadoras han sido reportadas en ingeniería, muchas de ellas logradas a partir de la transferencia de estrategias desarrolladas en otras disciplinas. Sin embargo, son posiblemente pocas las estrategias de enseñanza que podrían ser asignadas en su origen a la ingeniería.

Un número creciente de publicaciones reportan estas experiencias y cada vez es más común que el tema de la educación en ingeniería sea parte de los temas tratados en eventos académicos en ingeniería.

Sin embargo, no existen evidencias contundentes que muestren realmente que estas innovaciones han tenido resultados positivos más lejos de la percepción de profesores y estudiantes, fácilmente explicables por razones diferentes a la eficacia de las estrategias novedosas propuestas. Sin duda, una clase en la que pueda participar el estudiante, rompiendo con el largo monólogo de algunas clases llamadas magistrales, es suficiente para que las dos partes se sientan satisfechas: los estudiantes no se duermen o distraen en otras actividades enganchados por una nueva aproximación y el profesor se siente mucho mejor de no ver a sus estudiantes dormir en el fondo del salón, o planteando preguntas en vez de mostrar un completo desinterés por el tema.

Lo antes expuesto sin duda puede sonar a victoria para más de un profesor que se ha situado en la orilla opuesta, manteniéndose en el paradigma de que un buen profesional y un buen investigador es un buen profesor, o que, una presentación bien estructurada y rigurosa de un experto es mejor que el desorden del trabajo en grupo y de estudiantes pretendiendo estructurar el conocimiento que ya está estructurado, o estudiantes pretendiendo resolver un problema con sus propios recursos, cuando el experto les puede ahorrar tiempo indicándoles exactamente que hacer y cómo hacerlo. Para que gastar tiempo en construir

conocimiento por si mismo cuando basta con que estudien buenos libros que se les recomienda, escuchen a un buen profesor que les presenta el tema bien estructurado y con rigor y hagan los ejercicios que se les indica para desarrollar las habilidades.

Sin embargo, esta es una alegría con muy poco sustento, pues las estrategias tradicionalmente utilizadas en la enseñanza en ingeniería, cada vez menos comunes, contradicen lo que la ciencia sabe sobre el aprendizaje humano, sobre lo que significa el conocimiento, los caminos de aprendizaje y la comprensión del experto.

Cuando un profesional decide dedicar parte de su vida a enseñar en ingeniería, queriendo ser igualmente un profesional como profesor, se enfrenta a una situación para la cual no ha tenido una formación específica, como si la ha tenido dentro de la disciplina de la ingeniería que enseña. A menudo esta situación se resuelve simplemente replicando experiencias educativas vividas, replicando prácticas de las cuales fue partícipe y que considera exitosas desde su perspectiva personal. La situación se resuelve con la tradición, con la "experiencia" sin que ello produzca mayores dudas o inquietudes. Sin embargo, si esta misma estrategia se utilizara en el campo profesional disciplinar, sería seriamente discutible, peligrosa y sin duda criticada.

Ahora bien, si se piensa en la actividad profesional de un ingeniero tanto en actividades de diseño, de desarrollo, como de investigación, actividades en las que el aprendizaje es permanente, donde el profesional tiene que comprender muy bien el problema o pregunta a resolver, estructurar estrategias para trabajarlos, buscar información complementaria, estudiar, producir, reflexionar sobre los resultados, asistir a una conferencia buscando parte de las respuestas a las preguntas que se tienen, volver a menudo al punto de partida, se está sin duda ante una actividad "genuina" de aprendizaje. Cabe hacer una pregunta central: por qué como profesionales nos podemos dar el lujo de aprender de forma tan significativa, natural y efectiva, mientras a los estudiantes no le damos esa posibilidad, insistiendo en enseñarles nuestra visión de la disciplina, obligarlos a aprender, a veces de memoria, la estructura del conocimiento que hemos construido, inducirlos a creer la importancia de lo que aprenden, sin que ellos sepan para que sirve, bajo la promesa de que les será de utilidad?

Definitivamente el profesor de ingeniería del siglo XXI debe ser doblemente profesional: en su disciplina y en educación. Como ingenieros, no podemos desconocer ni lo que la ciencia tiene que decir sobre el aprendizaje humano, ni lo que nos indica, por ejemplo, sobre las fuerzas o las características de los materiales cuando diseñamos un puente. Este libro busca presentar información relevante en algunas de las dimensiones relacionadas con la educación en ingeniería, con el fin de ayudarle al nuevo profesor a iniciar una práctica reflexiva y al profesor ya confirmado a evaluar sus prácticas y buscar oportunidades de mejoramiento. Igualmente, busca presentar las diferentes temáticas en un lenguaje de ingenieros, para ingenieros.

Múltiples autores, cuidadosamente seleccionados por la calidad de su trabajo y publicaciones, han contribuido a llenar estas páginas. Dado que cada artículo se sustenta por sí solo y que no existe un hilo conductor lineal, cada lector puede abordar las diferentes partes en orden variado y según su interés.

Finalmente, es importante aclarar que este libro tiene un carácter divulgativo: su objetivo no es exponer resultados de investigaciones que asocien rigurosamente afirmaciones a referencias, sino presentar información relevante y de fácil lectura que promueva una reflexión sobre las prácticas de aula y su evaluación.

Sección 1. | Caminos y objetivos para el aprendizaje



Principios para la enseñanza compatibles con el aprendizaje

Por: Mauricio Duque, Universidad de los Andes, Colombia

Tradicionalmente el discurso educativo ha tenido origen en el campo de las ciencias sociales y muy recientemente, de las ciencias naturales. Esto ha dificultado la comprensión por parte de los profesores de ingeniería de algunos aspectos fundamentales en torno al aprendizaje y generado un cierto nivel de aversión al discurso pedagógico. Esta situación se explica fácilmente si se tiene en cuenta que un discurso es información codificada que se tiene que decodificar adecuadamente y que sin conocimientos previos y un contexto adecuado, esta información resulta fundamentalmente inteligible. En resumen, el discurso educativo clásico resulta con poco sentido y sin significado para un profesor en ingeniería.

Esta sección del libro presenta una aproximación diferente a la educación desde la perspectiva de un ingeniero, con un vocabulario y un contexto que le puede ser más familiar y que en consecuencia puede ayudar a comprender algunos principios básicos.

Los avances en la comprensión sobre el funcionamiento del cerebro humano y sobre la forma como se aprende progresa con tal velocidad que lo que se afirma hoy, podría ser modificado en muy poco tiempo. Sin embargo, conocer algunos elementos de este maravilloso fenómeno natural, el aprendizaje, permite tener una visión diferente sobre nuestra responsabilidad como profesores, sobre lo que parece coherente con la forma como aprendemos y lo que no lo es.

Esta sección puede también interpretarse como una introducción general desde la perspectiva del autor que luego el lector podrá confrontar con otras partes del documento general.

Este capítulo se compone de tres partes. En la primera se hará una breve presentación de algunas características de nuestra “máquina de

aprendizaje". En la segunda parte se presentará una visión del fenómeno del aprendizaje humano en términos del lenguaje de ingeniería. Finalmente, en la segunda parte se propondrán algunos principios para la enseñanza que se sustentan en la forma en que trabaja nuestro cerebro.

1. La máquina biológica que aprende

El aprendizaje humano se sustenta en la modificación de la red neuronal que conforma el cerebro humano. Cuando aprendemos algo se pueden producir al menos dos fenómenos:

- Se generan nuevas conexiones entre las neuronas.
- Se cambian las características de estas conexiones.

El aprendizaje, entonces, parece reposar sobre las conexiones entre neuronas y sus características de respuesta, así como en la topología general. Estas conexiones y sus características se establecen en forma duradera, cuando son utilizadas frecuentemente y desaparecen cuando no son utilizadas.

La redes neuronales artificiales han buscado emular el funcionamiento de una red neuronal biológica. En principio podría parecer que esta imitación podría encontrarse muy lejos de la realidad, pero algunos estudios parecerían indicar lo contrario, de hecho diferentes redes con diferentes esquemas de aprendizaje han mostrado ser buenos modelos tanto para predecir como para analizar ciertos aspectos del cerebro humano [Spitzer, 1999].

Veamos paso a paso algunas características de esa fantástica máquina biológica de pensamiento y algunas implicaciones que pueden inferirse para el aprendizaje.

1.1. La complejidad

El cerebro humano cuenta con unas 20.000 millones de neuronas cada una de ellas con posibilidad de conectarse a 10.000 otras neuronas lo cual hipotéticamente permitiría unas 200 tera-conexiones [Spitzer, 1999]. Si se quisiera almacenar la información de los pesos requeriríamos más de 200 Tb, sin contar con almacenar la topología misma.

Las redes neuronales artificiales que empleamos hasta ahora para resolver problemas de ingeniería palidecen ante estos números. Mientras la red neuronal artificial desarrollada para leer textos en inglés [Spitzer, 1999], está conformada por 203 neuronas de entrada, 26 en la salida y 80 en la llamada capa escondida intermedia, nuestro cerebro cuenta con 20.000 millones de ellas. Esta red neuronal artificial es $1,5 \times 10^{-4}$ % de nuestro cerebro en número de neuronas.

Quienes han pasado por el camino de aprender a leer correctamente en inglés saben que no se trata de una labor sencilla a dominar en poco tiempo y sin embargo una pequeña red que emula parcialmente el funcionamiento del cerebro lo logra. Por ello, parecería que no es de extrañarnos el nivel de complejidad que puede lograr el pensamiento humano.

Sin embargo, esta complejidad se sustenta en elementos con funcionalidad bastante sencilla funcionalmente. El conocimiento se codifica en la existencia de ciertas conexiones, en los pesos y en la función de activación. Aprender es generar conexiones con pesos determinados, cambiar la arquitectura entre los elementos (neuronas) que permanecen básicamente constantes, desde nuestro nacimiento.

1.2 La flexibilidad

El cerebro humano no sólo es complejo en su estructura, sino es el órgano más flexible que tenemos, se puede reconfigurar frente a ciertas situaciones. A diferencia de un computador, donde por un lado tenemos el procesador, con operaciones básicas predefinidas y por el otro el código y los datos que definen lo que éste puede hacer secuencialmente, el cerebro humano tiene una arquitectura que se adapta a las nuevas funcionalidades, se reconfigura según las tareas que debe ejecutar, es “software” y “hardware” a la vez, es información y proceso, es una máquina redundante de procesamiento paralelo. Mientras en un computador el daño en un solo bit puede detener su operación, el cerebro humano sigue funcionando a pesar de que estamos perdiendo neuronas día a día, si bien a los 70 años hemos perdido apenas el 1.3% de estas. Sin embargo, aun debido a esta pérdida, nuestras capacidades se mantienen funcionando razonablemente bien, salvo en casos extremos en los cuales incluso, el cerebro puede readaptarse transfiriendo funciones de un lugar al otro.

1.3 El funcionamiento: pc vs red

Algunas veces se tiende a pensar en el cerebro como un computador, algunas veces se describen las tareas que ejecuta el cerebro en términos de pasos y seguimiento de reglas.

Sin embargo el funcionamiento del cerebro dista del funcionamiento de un computador y al procesar información no sigue reglas como si lo hace el computador, si bien algunas veces describimos a posteriori las funciones mentales en términos de reglas [Spitzer, 1999].

El lenguaje presenta un buen ejemplo de esto: cuando hablamos seguimos implícitamente reglas, pero si reflexionamos, no estamos pensando en ellas, simplemente sabemos como hacerlo. La regla no representa otra cosa que la explicitación de un fenómeno que sucede. El cerebro no produce el habla siguiendo reglas, al menos en la lengua materna. La regla, la norma representa una muleta poco útil como bien lo muestra el aprendizaje de los niños que no las usan y las dificultades que tienen los aprendices mayores de una segunda lengua cuando tratan de hacerlo. La regla es una descripción externa de lo que el cerebro hace sin necesidad de seguirla. Simplemente la habilidad está impresa en el cerebro, en sus conexiones. Sería como describir con reglas lo que hace una especie animal en su interacción en su grupo y luego pretender que esos animales sigan explícitamente esas reglas. En estos casos las reglas son descriptivas, no prescriptivas.

Por ello, altos niveles de habilidad no incluyen la utilización de reglas. En el pensamiento del experto esto es evidente, frente a un problema, mientras el novato sigue un conjunto de reglas y heurísticos, el experto casi inmediatamente puede encontrar la solución sin haber seguido reglas secuenciales. Su cerebro trabaja en paralelo, identifica en fracciones de segundo patrones y presenta una posible solución. Recordemos que el cerebro trabaja en paralelo y es una máquina poderosa de identificación de patrones, no de procesamiento de reglas.

Un ejemplo interesante es el de la detección de caras. En un computador es necesario utilizar poderosas técnicas de análisis, representadas en algoritmos, reglas y fórmulas matemáticas. El cerebro simplemente

reconoce la cara de miles de personas en fracciones de segundo sin seguir ninguna regla, sin utilizar ningún cálculo, sin aplicar ningún algoritmo. El computador y el cerebro son máquinas sustancialmente diferentes.

1.4 La funcionalidad central, la detección de patrones

Un examen de las aplicaciones en ingeniería de las redes neuronales revela que éstas se desempeñan muy bien cuando de detectar patrones se trata. Desde la identificación de números, hasta labores de identificación e interpretación de gráficas con signos vitales de un paciente en la sección de cuidados intensivos de un hospital. Estas habilidades, en general no pueden ser codificadas en términos de procedimientos algorítmicos, o cuando se hace resultan en grandes códigos con poca flexibilidad frente a situaciones novedosas. El objetivo de una red neuronal artificial es la identificación de patrones y la generación de señales específicas cuando un determinado patrón es detectado.

El cerebro humano es también una máquina de detección de patrones, habilidad que ha sido indispensable en la supervivencia del ser humano como especie.

Algunos ejemplos pueden ayudarnos a dimensionar esta característica: Mientras para realizar una operación matemática, por ejemplo de división a varios dígitos, que requiere seguir un procedimiento unido a tener en memoria cierta información (tablas de multiplicar), nos puede tomar varios segundos, incluso minutos, somos capaces de identificar miles de rostros conocidos en fracciones de segundo.

Comparando este mismo ejemplo con un computador, se encuentra la situación contraria: mientras el computador puede realizar la división en fracciones de segundo, requiere de una capacidad de cálculo y tiempo para identificar rostros, con niveles de confiabilidad inferiores a los que logra el ser humano.

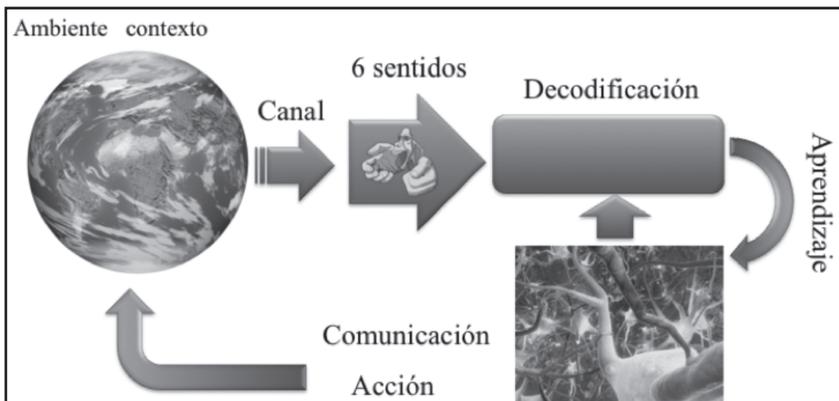
Mientras el computador es una máquina de ejecución de procedimientos, el cerebro humano es una máquina de detección de patrones y de procesamiento paralelo.

2. El aprendizaje visto desde la ingeniería

En [Spitzer, 1999] el autor propone: práctica, no sermón. El aprendizaje requiere de estructura en el aprendizaje, lo peor que puede suceder es un conjunto de información aleatorio del cual no se puedan inferir patrones, encontrar regularidades, recibir realimentación a una acción, encontrar relaciones de causa efecto.

Igualmente, estrategias de enseñanza basadas en la transmisión del conocimiento estructurado del experto, tampoco parecen tener cabida pues no son las más coherentes con el fenómeno mismo del aprendizaje. Es cierto, muchos aprenden en esta forma, pero estamos seguros que aprenden debido a la estrategia de enseñanza, o a pesar de ella?

En términos de ingeniería, la siguiente figura busca ilustrar el fenómeno del aprendizaje.



- Cuando aprendemos, “captamos” información del medio que nos rodea. Esta información nos llega por nuestros sentidos, voz, imágenes, sensaciones táctiles (presión, temperatura,...), olores, saberes, ...
- Cuando alguien nos enseña, realmente genera estímulos para nuestros sentidos. Si quien enseña se limita a hablarnos, fundamentalmente estamos recogiendo información de audio (las palabras del profesor) y de imagen (el movimiento de las manos, los ademanes

corporales, ...). Pero toda esta información llega codificada. Lo que el profesor quiere transmitir, por ejemplo un concepto, lo codifica en término de palabras (variaciones de presión del aire).

- Esta información viaja en forma de luz, cambios de presión, por el medio, un canal de comunicación. Ningún canal es perfecto, diferentes fuentes de ruido contaminan la información.
- Toda esta información llega a nuestros sentidos, los cuales deben cambiar estas señales en impulsos eléctricos que viajan hacia nuestro cerebro.
- Finalmente estos impulsos deben encontrar grupos de neuronas en capacidad de comprenderlos (reaccionar a estos estímulos), detectar patrones y decodificarlos. Esta decodificación no se puede hacer sino desde lo que se sabe, desde la programación impresa en nuestro cerebro. Por ello, la misma información puede ser comprendida de formas diferentes entre personas y con relación a la intención del profesor.
- Pero hasta este punto no ha habido aprendizaje. La simple decodificación de una información no implica aprender, al menos en forma duradera. El fenómeno del aprendizaje implica condiciones adecuadas que no resultan simplemente de escuchar. En general el aprendizaje es una necesidad. Si la nueva información no dispara los mecanismos de aprendizaje, no servirá a construir nuevo conocimiento.
- Como no se pudo codificar un concepto plenamente en palabras, del otro lado, la decodificación no implica el aprendizaje del concepto.
- Finalmente, en respuesta a la nueva información puede producirse un disparo del proceso de aprendizaje y/o una acción de interacción con el mundo que a su vez vuelve a generar información que captan nuestros sentidos.

Desde esta perspectiva, varios conceptos centrales en educación adquieren un nuevo significado:

Constructivismo: efectivamente el conocimiento no se transmite, cada persona debe construir el conocimiento, modificando su red neuronal. El conocimiento reposa en la cabeza de cada cual.

Sentido: La información que nos llega debe tener sentido, debe ser descifrable y ello depende de los aprendizajes previos.

Significado: además de tener sentido, debe tener significado, ser significativa, debe responder a necesidades del individuo. Debe servir claramente para algo, conectarse.

En este marco, el reto de un profesor es generar ambientes de aprendizaje enriquecidos, donde el estudiante no tenga otra oportunidad que aprender. El aprendizaje, si bien se potencia y es influenciado por la interacción con otras personas, es una experiencia profundamente personal. El aprendizaje no es una consecuencia natural de la enseñanza.

3. Por qué las prácticas tradicionales presentan problemas: principios para la práctica docente

Una respuesta rápida diría que simplemente esas prácticas no son coherentes con la forma en que los seres humanos aprendemos y quizá menos ahora que antes debido al cambio en los estilos de aprendizaje.

Una segunda respuesta podría indicarnos que estas prácticas se sustentan en concepciones sobre el conocimiento y sobre el aprendizaje que parecen estar erradas. Esto sugiere dos preguntas a las cuales todo profesor debería tener una respuesta adecuada, no basada en opiniones, sino en el conocimiento científico. De cuál otra manera podría un ingeniero riguroso proceder?:

- Qué es el conocimiento? Qué es el conocimiento en ingeniería?
- Cómo aprenden las personas?

Si estas dos preguntas no tienen una respuesta satisfactoria, qué es lo que estamos haciendo en clase? Sobre qué base procedemos?

Sin embargo, más de un profesor podría indicar que su propia experiencia es una prueba de que las prácticas tradicionales pueden que no sean perfectas, pero funcionan muy bien. Adicionalmente podría agregar que muchas de las estrategias de enseñanza actuales no tienen rigor y que buena parte de las deficiencias de los estudiantes actuales se deben a ellas, donde se preocupan más por que el estudiante esté contento que por lo que debe aprender.

Sin entrar a examinar esta posición en detalle, esta opinión tendría sentido si no fuese porque ella reviste poco de científico pues se sustenta en percepciones propias, sin apoyo real en evidencias y de hecho desconoce conocimiento científico reciente sobre el tema.

En lugar de entrar en este debate, o de dar una receta basada en un método que pretende ser el mejor, a continuación se propone un conjunto de 10 principios para la enseñanza que son compatibles con lo que se sabe sobre el aprendizaje humano, que pueden servir para desarrollar estrategias de enseñanza eficaces adaptadas al contexto.

Para ello empecemos visitando una clase de 50 minutos que sirva de contexto para los 10 principios que se van a presentar:

Un profesor enseña una de esas materias fundamentales para una ingeniería. No se trata de un curso en el que se tenga una aplicación directa para la mayoría del contenido, pero este es fundamental en cursos posteriores más profesionales. Se trata de un curso de los denominados ciencias de la ingeniería. Pero este en particular fundamenta las matemáticas necesarias para seguir a otros cursos. El profesor sabe que este curso le presenta problemas a los estudiantes que en general lo asumen por obligación. Es evidente la situación, pues el estudiante deberá esperar a cursos posteriores para entender su importancia. Luego cuando son profesionales, varios de los estudiantes le han mencionado que efectivamente era un curso muy importante, pero que esto lo descubrieron posteriormente. El profesor opina que el estudiante debe creerle al profesor sobre la importancia y hacer un esfuerzo de disciplina y estudiar. Finalmente no todo lo que aprendemos tiene que ser siempre de nuestro agrado. Además es el profesor quien conoce el tema y su importancia y el estudiante debería tener en cuenta esta experiencia y poner empeño en aprender.

Al comenzar la clase el profesor solicita la entrega de una tarea individual que se tenía programada para dicho día. Después de pasar unos minutos esperando que los estudiantes hagan pasar la tarea, las introduce en una carpeta que pone a un lado de la mesa. Inmediatamente le pide a los estudiantes guardar todo y procede a repartir una prueba sorpresa con la cual espera mostrarle a los estudiantes la importancia de llegar a tiempo a clase y de haber estudiado el tema que se solicitó fuese leído de forma independiente y previa, así como la realización de los

ejercicios asignados en el programa. Los ejercicios propuestos se parecen a los sugeridos. Da 5 minutos, pues tanto la comprobación de lectura como los ejercicios corresponden justo a aplicar un par de fórmulas o responder en pocas palabras la respuesta correcta. El estudiante debe simplemente comprender dos ejercicios propuestos y saber que fórmula debe aplicar. Igualmente la pregunta de comprobación de lectura es simplemente escoger en un par de preguntas de respuesta múltiple la respuesta correcta. Es simplemente recordar lo leído, nada difícil.

Pasados los 5 minutos solicita a los estudiantes no olvidar escribir el nombre y pasar la hoja trabajada.

Han pasado cerca de 10 minutos. Siguiendo la metodología propuesta, se supone que el estudiante ha leído el tema indicado en el programa, por lo que procede a preguntar a los estudiantes si tienen dudas sobre la temática. Algún estudiante le menciona que el tema no estaba muy claro, que sería bueno una explicación general. Después de recordarle a los estudiantes que la lectura previa es fundamental y que continuará haciendo pruebas sorpresa para verificar que están cumpliendo, procede a explicar el tema del día. Desarrolla en el tablero la matemática de la temática del día, lo cual le toma del orden de 20 minutos de la clase. Los estudiantes en general copian cuidadosamente en sus cuadernos o siguen el libro de texto que sustancialmente contiene la misma información. Cada cierto tiempo le pregunta a los estudiantes: entendieron? Tienen preguntas? Algunas veces, algún estudiante plantea alguna pregunta. En general el profesor tiene la sensación de que los estudiantes no lo están siguiendo, probablemente debido a que no realizaron el estudio previo como les había solicitado. Sin embargo, su responsabilidad es presentar el tema, si bien preferiría que la clase fuese más para resolver dudas y no para repetir lo que está en el libro.

A estas alturas han pasado 40 minutos de los 50 previstos en la clase. Para terminar, propone un ejercicio sobre la temática que el mismo resuelve. En general los estudiantes aprecian poder ver ejercicios resueltos y explicados. Adicionalmente, como sucedió de nuevo, en esta parte los estudiantes parecen más atentos.

Termina la clase recordando que ahora deberán hacer los ejercicios indicados en el programa para la próxima clase. Igualmente, asigna de nuevo una tarea individual para la próxima vez, recordándoles que la copia es fuertemente penalizada y que lo que entreguen será calificado y forma parte importante de la nota total. Les podrá ayudar si les va mal en los parciales.

El anterior relato puede parecerse a muchas clases que hemos tomado y que tal vez hemos dado. Se observa un profesor que prepara sus clases, que hace evaluaciones frecuentes, que se preocupa porque los estudiantes lean y desarrollen ejercicios, que le preocupa cuando no ve a sus estudiantes motivados con el curso. En general es lo que podemos catalogar como un buen profesor.

Sin embargo, un análisis más cuidadoso puede mostrar un panorama muy diferente, sobre todo si se analiza desde la perspectiva de lo que se ha presentado anteriormente. De hecho contradice muchos de los principios que indicarían una docencia de calidad en la actualidad. El sentido común, como en muchos contextos en ciencias naturales, no es un buen consejero. El sentido común no es un conocimiento genérico, correcto, sino el reflejo de lo que aprendemos y esto que aprendemos está moldeado por las creencias. Más que sentido común, hablamos de creencias, y estas, no necesariamente son correctas.

Hace varios siglos era parte del sentido común de algunas sociedades la característica plana de la tierra. En particular, la redondez de la tierra desafiaba claramente el sentido común, que a menudo responde a consensos. No por ello la tierra dejó de ser redonda.

A continuación se presentarán un conjunto de principios y a título de ejemplo se utilizará el relato anterior para ilustrar las ideas.

3.1 Sentido y significado

El estudiante debe encontrar sentido y significado en lo que está aprendiendo.

Estos dos términos hacen referencia a dos aspectos diferentes [Sousa, 2006].

Sentido: el estudiante debe poder comprender la información que está recibiendo por sus sentidos. Sus conocimientos previos le deben permitir decodificar y analizar esta información.

Significado: la información debe ser relevante para el estudiante, le encuentra utilidad, puede conectarla con necesidades de supervivencia, emocionales o intelectuales.

En ausencia de las dos características, la probabilidad de retención será muy baja. Entre las dos, es más importante la segunda que la primera. La existencia de estas dos características lleva a una alta probabilidad de retención.

Estas dos características también se han expresado en forma diferente:

- El aprendizaje sucede en la frontera entre lo que se sabe y no se sabe (garantiza el sentido)
- Lo que se aprende debe tener significado para quien aprende – aprendizaje significativo.

Igualmente, el efecto que sobre el aprendizaje tienen diferentes informaciones recolectadas varía en función de lo que signifique para la persona:

- Si la información es percibida en relación con la supervivencia, se sobrepondrá sobre cualquier otra información y llegará de forma rápida a la memoria de trabajo. La permanencia en una universidad y mantener el promedio puede ser considerado como supervivencia. Este tipo de situaciones interfieren en el aprendizaje.
- Si la información genera fuertes emociones también es procesada con prioridad, aunque en menor grado que la anterior.
- Finalmente si se trata de información para aprender, está tendrá la prioridad más baja y solo tendrá efecto si no existe información de los dos niveles superiores. Un estudiante angustiado por la nota, seguramente tendrá dificultades en procesar información que lo lleve a construir comprensión profunda de un tema, debe encontrar estrategias efectivas para salir del problema, aprender “de memoria” como resolver un tipo de problema sin importar si comprende lo que hace.

Un examen del relato muestra rápidamente la ausencia importante de ambas características:

- ✓ Los estudiantes en general no conocen la utilidad de lo que están viendo en el curso. El profesor está realmente respondiendo a preguntas que los estudiantes no tienen. No tiene significado real el curso para muchos estudiantes.
- ✓ Al no existir interés en el tema, los estudiantes no han seguido al profesor, el tema no tiene sentido. Si les hablasen en chino posiblemente no exista gran diferencia.

- ✓ En estas condiciones es posible que buena parte del esfuerzo que hace el profesor esté absolutamente perdido. De hecho, continuar una clase, cuando se tiene certeza de que buena parte de los estudiantes no siguen, es una actividad infructuosa, salvo por generarle tranquilidad al profesor al cubrir el tema previsto.

3.2 Nuestros sentidos y el sentido de la información

El único medio por el cual recolectamos información del medio, fundamental para aprender, son nuestros sentidos. Estos no son perfectos y la información que estos recolectan es interpretada a partir de lo que sabemos. Adicionalmente, no todos los sentidos tienen la misma eficacia siendo el oído el que podría tener el menor impacto en el aprendizaje.

Este principio tiene varias implicaciones:

- Utilizamos nuestros sentidos en el aprendizaje, para recolectar la información que requieren estos procesos. Sin embargo, no todos los sentidos tienen el mismo impacto [Sousa, 2006].
- La misma información es interpretada en forma diferente por diferentes personas. Una frase célebre dice que vemos las cosas no como son, sino como somos¹. Por ello un profesor debe tener mecanismos para saber qué han interpretado sus estudiantes. Preguntarles si han entendido no es una solución, pues lo importante es qué han entendido.

Pasando al análisis de nuestro caso, se puede encontrar que:

- La actividad de la clase se centra en escuchar, ver y observar una demostración. Como se Mostrará más adelante, ninguna de las estrategias más efectivas, que compromete más sentidos, es utilizada.
- El profesor tiene claro que parte de los estudiantes no lo están siguiendo, pero, no sabe realmente si los que lo están siguiendo

¹ Anais Nin, quien escribió esta frase, fue una notable novelista francesa.

decodifican su mensaje como esperaba. Ni siquiera sabe si lo fundamental es considerado como tal y, que, eventualmente los pocos estudiantes que lo siguen se pueden estar concentrando en aspectos menos relevantes.

3.3 Los ritmos y los estilos de aprendizaje

Las estrategias planteadas durante un curso deben ser variadas para darle oportunidad al mayor número de estudiantes de encontrar estrategias apropiadas a sus estilos de aprendizaje.

Varios autores han escrito sobre este tema [Kolb, 1984; Sousa, 2006; Jensen, 2000]. Existen características a todos los seres humanos y características individuales. Estas últimas dependen de una gran cantidad de factores entre los que se encuentra la historia personal de aprendizaje o el hemisferio cerebral que domine en cada persona.

Entre las características generales se encuentra que todo aprendizaje requiere de tiempo y práctica, que el cerebro no es capaz de manejar simultáneamente muchos temas simultáneamente cuando aprende y que la información que no se logre incorporar oportunamente, se pierde definitivamente. Igualmente que información contradictoria en otros espacios de aprendizaje, produce interferencia en cada uno de los procesos de aprendizaje.

Entre las características particulares están las relacionadas con las actividades mismas de aprendizaje. Por ejemplo, muchas personas aprenden mejor desde el problema concreto hacia la abstracción en el marco de una aproximación inductiva. [Kolb,1984] indica que es más común como estrategia de aprendizaje la aproximación inductiva. Sin embargo, en las universidades es más común una aproximación deductiva, desde un marco matemático, del cual se deducen los casos particulares y se termina con el ejercicio específico de aplicación. Este mismo autor, igualmente menciona que los profesores universitarios tienden a pertenecer más a este estilo de aprendizaje, lo cual explica lo arraigado del mismo en el sistema educativo. Sin embargo, para buena parte de los estudiantes resulta más una dificultad que una ayuda.

Este postulado es a menudo violado. El estudiante debe comprender por clase varios conceptos y desarrollar varias habilidades simultáneamente, pues en la siguiente se pasa a otro tema. Hay que cubrir un programa recargado con todo lo que un conjunto de profesores propuso se debe enseñar.

Volviendo sobre el relato, es el profesor el que ha determinado qué aprender, cuándo hacerlo y cómo.

El profesor avanza al ritmo que él decidió sin que exista mayor posibilidad de que estudiantes que no siguen ese ritmo tengan oportunidades. La estrategia es la misma de clase a clase. Para un buen número de estudiantes esta estrategia podría no ser la más apropiada. El tema de la vez anterior es evaluado al comienzo de la siguiente clase. Es claro que los diferentes ritmos de aprendizaje no son una preocupación para este profesor, quien probablemente piense que quienes no lograron responder la prueba sorpresa es porque no estudiaron adecuadamente.

3.4 El contexto de aprendizaje

El aprendizaje debe darse en contextos variados que le permitan al estudiante “generalizar” lo aprendido. Más que gran cantidad de ejercicios, contextos variados. No se busca entrenar a los estudiantes, sino de generar comprensión y capacidad para utilizar el conocimiento flexiblemente en contextos novedosos.

El contexto igualmente tiene un gran impacto sobre el aprendizaje. Por ejemplo la realización de un número importante de ejercicios del mismo tipo, sobre un mismo contexto, produce lo que se denomina sobre contextualización [NRC, 2000]. En esta situación el estudiante tendrá dificultades adicionales para aplicar el conocimiento en contextos novedosos. Simplemente, no tendrá información suficiente para generalizar lo aprendido.

Algo similar sucede cuando el contexto no es claro, cuando se busca que el estudiante aprenda algo sin un contexto apropiado. Tendrá

dificultad para encontrar significado, para realizar generalizaciones que le permita transferencias de lo aprendido a otros contextos. La falta de contexto, como la sobre contextualización tienen un efecto negativo en el aprendizaje.

En la clase descrita, no parecen existir ejercicios en contextos diferentes, salvo el mismo texto utilizado brinde esta posibilidad. De hecho, la realización de gran número de ejercicios de texto puede promover más el entrenamiento mecánico que la comprensión de los principios que subyacen.

3.5 La práctica autónoma, pero guiada

El estudiante debe aprender haciendo aquello que es objetivo mismo del aprendizaje, en el marco de actividades guiadas por el profesor al comienzo.

Hemos visto que las demostraciones tienen poco impacto en el aprendizaje, mucho menor que el hacer por sí mismo la actividad. Esto podría llevar a pensar que es adecuado que los estudiantes desarrollen actividades autónomamente. Sin embargo, la investigación muestra que quien está aprendiendo requiere de una práctica guiada, en la cual el profesor lo puede apoyar, no indicándole lo que debe hacer, sino formulándole preguntas que le permitan enfocarse en lo fundamental.

En el caso de referencia se observa que las actividades se clasifican entre demostraciones y prácticas autónomas. La práctica guiada no parece ser parte de las estrategias de este profesor. Por ello, las estrategias de práctica utilizadas resultan finalmente poco efectivas.

3.6 La comprensión y la transferencia

Los procesos de transferencia de un conocimiento a contextos diferentes no son un fenómeno que se de automáticamente, de hecho el poder hacerlo es una evidencia de comprensión importante. Para promover transferencia

el estudiante debe enfrentarse a contextos y problemáticas diferentes, más que muchos ejercicios, pocos, en contextos diferentes y con una actividad de reflexión por parte del estudiante. Las lluvias de ideas sobre las posibilidades de aplicación del tema, el trabajo con analogías y la reflexión sobre lo que se está aprendiendo y cómo se está logrando, facilitan la transferencia.

No es fácil definir comprensión², saber qué significa que alguien comprende algo, pero una forma de responder es dada por Perkins en [Stone, 1998]. Un conocimiento es comprendido cuando el estudiante tiene la capacidad de utilizar este conocimiento en forma flexible, esto es en contextos y problemáticas novedosos.

En otras palabras, Perkins relaciona comprensión con capacidad para transferir conocimiento. La transferencia de conocimiento hace referencia a utilizar el conocimiento aprendido en un contexto en el marco de una problemática o contexto diferente [Sousa, 2006].

De lo mencionado antes, para un estudiante no es evidente lograr niveles de transferencia de conocimiento.

Un ejemplo corriente para ilustrar esta situación es la del curso de ecuaciones diferenciales. La mayoría de los estudiantes de ingeniería pasan por un curso de este tipo. Si lo han aprobado, la solución de una ecuación diferencial lineal de primer o segundo orden no debería ser un problema. En un curso posterior, en el desarrollo de un modelo matemático de un fenómeno físico, se llega a una ecuación diferencial. Los estudiantes tienen dificultad para trabajar con la ecuación, de hecho tienen dificultades en reconocerla como tal o de solucionarla.

Esta situación puede deberse a un aprendizaje superficial, el estudiante seguramente hizo muchos ejercicios, pero finalmente se preparó

² En la conocida taxonomía de Bloom, la comprensión se define de forma diferente: poder discutir, explicar, resumir, resaltar.

simplemente para pasar el examen, luego olvidó. Una segunda posibilidad es que el estudiante efectivamente trabajó el tema y lo recuerda, pero el contexto de aplicación es diferente, los problemas están planteados de forma diferente.

Pasando al caso de contexto, salvo que los ejercicios seleccionados del libro corresponden a contextos diferentes, es poco probable que este profesor esté realmente promoviendo capacidad para transferir. Adicionalmente, el tipo de examen propuesto parece orientarse más hacia la identificación del tipo de ejercicio y a la selección de la fórmula apropiada, esto es a seguir un algoritmo, que a la comprensión de la temática que se está tratando.

3.7 El aprendizaje deja huella

Para que se produzca aprendizaje, esto es, modificación de nuestra red neuronal, el sujeto debe encontrarse suficientemente involucrado en la actividad propuesta y ésta debe ser relevante para el aprendizaje que se busca. Involucrar física, emocional e intelectualmente al estudiante en el objeto de estudio puede ser la clave.

Cuando aprendemos no estamos llenando el cerebro de información como quien llena una biblioteca vacía o coloca información en una memoria de un computador. Ninguna de estas dos analogías, de uso no tan infrecuente, son buenas. Una mejor analogía del cerebro son las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales han resultado buenos modelos para predecir y comprender nuestro cerebro [Spitzer, 1999]. De hecho se inspiraron en el funcionamiento de nuestro cerebro y la investigación científica las ha validado como modelos del mismo. Todo lo que aprendemos modifica nuestro cerebro, no solo en las características y condiciones de la transmisión de una señal entre neuronas, como en el caso de las RNA, sino que además genera nuevas conexiones, modifica su topología. El aprendizaje no es una consecuencia natural de la enseñanza.

El fenómeno por el cual se produce fisiológicamente el aprendizaje no es simple y desborda la intensidad de este documento. Sin embargo, investigaciones han mostrado que no toda actividad de enseñanza implica aprendizaje.

En [Sousa, 2006] se presenta el siguiente gráfico que ilustra la situación.



Como se puede observar, actividades como escuchar, leer u observar, incluso observar a otro hacer una demostración o resolver un ejercicio, tienen un impacto bajo en el aprendizaje.

En cambio, actividades que involucran activamente a quien aprende, como discutir con otros, hacer, enseñar o aplicar, tienen una capacidad mayor de promover aprendizajes.

En relación con el relato de estamos usando de contexto, es clara la violación de este principio por parte del profesor, quien se limita a presentar un tema (escucha y audiovisual), y a mostrarle a los estudiantes como resolver un ejercicio. Los estudiantes por su parte sustentan su actividad en leer (previamente) y en realizar algunos ejercicios. Podría mencionarse que esta última actividad si debería producir resultados, pero, normalmente el estudiante se enfrenta más a entrenarse en resolver ejercicios de libro, que en comprender los principios y conceptos que subyacen.

Como indica [Jensen, 2000]: “Nuestro cerebro utiliza métodos de procesamiento paralelo. Lo que esto significa para el aprendizaje es que comprendemos tópicos complejos mejor cuando los experimentamos con entradas sensoriales ricas en oposición a simplemente escuchar o leer sobre el tema”.

En el caso de análisis, no se puede apreciar ni el involucramiento ni las actividades que permitan que el estudiante aprenda eficazmente. Se podría afirmar que tiene los ejercicios del texto, pero estos se realizan sin una guía y posiblemente respondan más a ejercicios de aplicación de fórmulas o algoritmos que promueven entrenamiento que ha problemas con un corte más abierto que promuevan altos niveles de pensamiento.

3.8 De lo simple a lo complejo, de lo fácil a lo difícil

El aprendizaje se potencia cuando el estudiante es confrontado desde el comienzo con el objeto de estudio que se quiere trabajar en toda su complejidad, comenzando con actividades fáciles hacia actividades de mayor dificultad.

El título de esta sección puede ser tomado como la regla de oro de todo profesor, parece intuitivo proponer el aprendizaje de esta forma. Pero nuevamente la intuición los engaña, al menos parcialmente.

Antes que nada es importante diferenciar complejo de difícil. Proponer actividades difíciles de realizar no implica poder abordar problemas complejos. En general la realidad es compleja y el cerebro está diseñado para tratar con ella.

A menudo, el profesor descompone lo complejo en pequeños pedazos que trata secuencialmente. Luego, al interior de cada uno de esos fragmentos aumenta progresivamente la dificultad. En esta estrategia, que suena de sentido común, el estudiante encuentra una gran dificultad para comprender lo que se quiere aprender y generar capacidad para transferir [Jensen, 2000]. Adicionalmente este enfoque resulta de poco significado para el estudiante que no logra ver el contexto global.

Una visualización de esta aproximación es una espiral, que navega desde el comienzo por el objeto de estudio complejo, pero paulatinamente va subiendo en complejidad. Este camino difiere sustancialmente del descrito previamente. Un examen de la propuesta de nuestro profesor de referencia parecería indicar que igualmente comete este error. Parece avanzar linealmente en el tema. Cada sección del texto la desarrolla proponiendo ejercicios desde los más fáciles a los más difíciles.

En nuestro ejemplo de clase, parece que el profesor sigue un texto. Si este texto responde a la estructura típica, posiblemente comience con lo simple y sencillo, pasando de tema en tema de forma desconectada. El problema posiblemente no está en el libro, sino en la utilización que hace del mismo el profesor.

3.9 Sin realimentación el aprendizaje no resulta

Para potenciar el aprendizaje el estudiante requiere saber como va con respecto a los objetivos, necesita evaluarse. Las evaluaciones tienen que estar alineadas con los objetivos. Una evaluación del estudiante apoyada o guiada por el profesor responde a una evaluación formativa, la cual potencia el aprendizaje.

Al igual que es importante el diseño de las actividades de aprendizaje, el diseño de las actividades de evaluación también. Evaluar no es simplemente calificar. Se podría afirmar incluso que no es calificar. Para aprender se requiere de realimentación.

Imaginarse una persona, sin ningún tipo de realimentación o evaluación en un proceso de aprendizaje lleva rápidamente a la conclusión de que en estas condiciones es difícil aprender. El impacto de las evaluaciones en el aprendizaje ha sido estudiado en varios contextos. Una evaluación inadecuada produce efectos negativos, mientras una evaluación apropiada potencia el aprendizaje [Harlen, 2002; Harlen 2004].

Igualmente la evaluación es el currículo oculto. Para el estudiante finalmente lo que tiene valor es lo que se evalúa. Si la evaluación implica

resolver ejercicios simplemente, eso aprenderá, a resolver ejercicios. El alineamiento.

Por otro lado, cada evaluación debe contener pocos objetivos. Servir a múltiples objetivos con una prueba compromete el logro de todos [NRC, 2001].

En el caso de base, fácilmente se encuentra que la evaluación formativa parece no existir. El estudiante tampoco parece participar en su propia evaluación. Adicionalmente, las actividades de evaluación, contaminadas con las notas, parecen orientadas en dirección de objetivos inapropiados: recordar lecturas, recordar como se resuelven algunos ejercicios, controlar asistencia. Son estos los objetivos del curso?

3.10 Evaluando a menudo, calificando poco

Evaluar no implica calificar, calificar no implica evaluar. La evaluación llamada formativa debe ser frecuente. En cambio la evaluación con nota (o del aprendizaje) debe respetar los ritmos de aprendizaje, ser sólo justo la necesario. Todo trabajo debe ser evaluado, no necesariamente calificado.

Aun profesores que han incorporado estrategias activas en su aula se pueden resistir a este principio: si no se califica el estudiante no trabaja. Una versión del siglo pasado de esta frase sería: La letra con sangre entra.

Esta afirmación se puede analizar desde dos perspectivas:

- Suponiendo que efectivamente recibimos estudiantes que sólo estudian bajo el garrote de la nota, la solución es continuar motivando esta actitud inadecuada? No se supone que estamos generando aprendices autónomos?
- No será que tenemos que “obligar” con la nota a los estudiantes a realizar las tareas y trabajos, pues estos no le son significativos? Es posible que los típicos ejercicios de entrenamiento no sean muy

motivadores. O lo son para nosotros más que un proyecto genuino en ingeniería?

La experiencia del autor ha mostrado que no se requiere una calificación directa sobre un trabajo para que este sea hecho con cuidado por la mayoría de los estudiantes a condición de que el trabajo tenga sentido y significado para el estudiante y de que exista una evaluación pública del mismo (no se habla de nota).

Regresando a la clase visitada, se observará todo lo contrario: calificaciones frecuentes, evaluaciones, quizá, inexistentes.

3.11 Aprender a aprender o la meta cognición

La meta cognición, esto es, la reflexión sobre lo que se aprende y sobre cómo se aprende, debe ser una actividad recurrente promovida por el profesor.

Es extraño que en clase nos detengamos para examinar con los estudiantes que se ha aprendido y cómo se ha aprendido por dos razones fundamentales:

- Para muchos profesores lo que se ha aprendido es lo que el profesor ha presentado. Si no lo saben en el parcial es que no estudiaron los estudiantes.
- Igualmente para muchos profesores sobra la pregunta de cómo se ha aprendido, cuando este ha definido qué aprender, cuando aprenderlo y cómo. La libertad del estudiante para desarrollar estrategias de aprendizaje efectivas acordes con sus estilos de aprendizaje, prácticamente no existen.

Cada vez se insiste más en la importancia de promover meta cognición. En palabras de (González, 1986):

Meta cognición es un término que se usa para designar a una serie de operaciones, actividades y funciones cognitivas llevadas a cabo por una persona, mediante un conjunto interiorizado de mecanismos

intelectuales que le permiten recabar, producir y evaluar información, a la vez que hacen posible que dicha persona pueda conocer, controlar y autorregular su propio funcionamiento intelectual.

En otras palabras, se trata de promover una reflexión explícita sobre lo que se ha aprendido y cómo se ha logrado.

En (Campanario, 2000) se presentan estrategias a utilizar en el aula para promover meta cognición.

En relación con el caso de referencia, el profesor no parece detenerse en promover una reflexión de los estudiantes en torno a sus aprendizajes, salvo lo que pueda promover indirectamente las pruebas frecuentes que propone. Sin embargo, debido a que estas pruebas son calificadas, es probable que los estudiantes se concentren más en encontrar estrategias para ser lo más exitosos posibles en dichas pruebas que en una reflexión sobre sus aprendizajes.

4. Bibliografía

- Campanario (2000) J. M. Campanario, "El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno," Enseñanza de las ciencias, vol. 3, pp. 369-380, 2000.
- González (1986) F. González, "Acerca de la metacognición," Paradigma, vol. XIV, 1986.
- Harlen, (2002) W. Harlen, *A systematic review of the impact of summative assessment and tests on students' motivation for learning*, EPPI, 2002.
- Harlen, (2004) W. Harlen, *A systematic review of the evidence of the impact on students, teachers and the curriculum of the process of using assessment by teachers for summative purposes*, EPPI, 2004
- Jensen, (2000) E. Jensen, *Brain-based learning: the new science of teaching & training*, Corwin Press, Thousand Oaks, 2000.
- Kolb, (1984) D. Kolb, *Experiential learning: experience as The Source of Learning and Development*, Prentice Hall, New Jersey, 1984.
- NRC, (2000) NRC, *How people learn: Brain, Mind, Experience, and school*, National Academy Press, 2000.

- NRC, (2001) National Research Council, *Knowing what students know: the science and design of educational assessment*, NAP, Washington D.C., 2001
- Sousa, (2006) D. Sousa, *How the brain learns*, Corwin Press, Thousand Oaks, 2006.
- Stone, (1998) M. Stone, V. Perrone, P. David, and D. Wilson, *Teaching for understanding*, Jossey-Bass, San Francisco, 1998.
- Spitzer, (1999) M. Spitzer, *The mind within the net*, The MIT Press, London, 1999.

De las competencias a los objetivos educacionales

Por: Hans Peter Christensen, DTU, Dinamarca

1. What to learn

In engineering education the student should acquire *engineering competence*. That is what you need to do engineering.

1.1 Engineering science

Engineers' working day involves 80% 'ings' (managing, planning, communicating, designing, listening, persuading, selling etc) and only 20% 'ics' (mathematics, physics, dynamics, electronics, etc.) (Matthew and Hughes 1994).

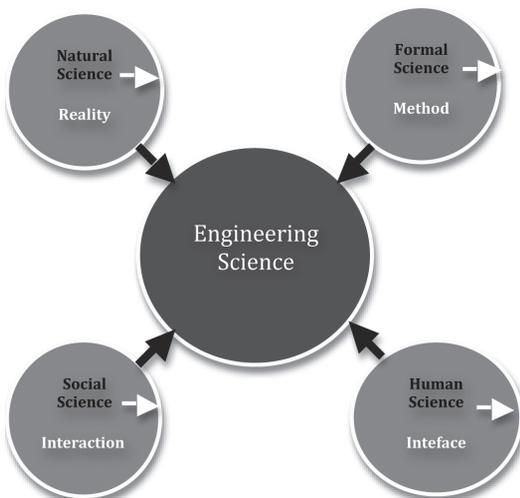
Engineering science can be defined as '*developing and managing technology*'. The main characteristics of **technology** are that technology deals with *artifacts* and technology *interacts with society*. **Artifacts**³ are artificial objects created by man. This makes a critically important difference between engineering and natural science. Natural science deals with the given nature, but artifacts are human creations characterized by a *duality*: Artifacts have a physical or logic structure *and* a technical function. The purpose of a bridge is not "that it shall not collapse"; the physical structure is only a precondition for the bridge to serve its real purpose: To allow something to pass from one side of something to the other.

The technical function is what makes it technology. Engineering is *intentional*: There is a purpose whatever this may be. The principal *raison d'être* for technology is an external social need (Kuhn 1996 p. 19). To master engineering science it is not enough to master solving technical problems; you must also be able to master the more qualitative tasks like analysis of preliminary conditions for action and prediction of consequences.

³ From Latin 'arte': Art + 'factum': Created = "created by art".

That engineering is intentional is closely connected to the fact that technology interacts with society, which means that engineering science has an *ethical* dimension (in contrast to natural science – the nature itself can be neither good nor bad; only the way we exploit it can). The saying is that guns don't kill, people kill; but guns are constructed to kill; their technical function is to kill.

Figure 1: The four founding sciences



Engineering science needs as shown in figure 1 a four-legged theoretical foundation – four basic sciences: **Natural** science is the real-world basis for developing physical artifacts using the mathematical and logical tools of **formal** science, which is itself basis for the system-based artifacts like computer programs. **Human** science is necessary to optimize the interface between the artifacts and

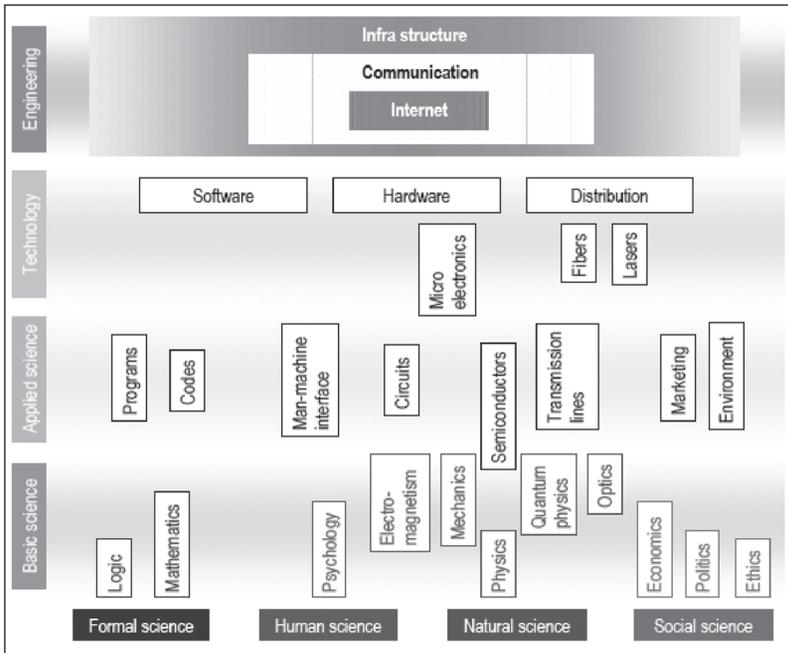
the users. And to manage technology you need **social** science to define the needs, calculate the cost, estimate the societal consequences and analyze the ethical questions.

But engineering science builds on theory *and* praxis: Originally engineering was a very practical craft (not based on mathematics and physics); the Roman aqueducts were built without sophisticated theoretical calculations. This is important to have in mind when designing engineering education and teaching engineering.

The synergy of the founding sciences, the applied sciences and the praxis forms a new science different from the sum of these. The objective for engineering science is not to seek truth, meaning or explanations as for

the basic sciences, but to seek political, economical and ethical acceptable *usability*.

In figure 2 is illustrated an example of a field of engineering (information technology) with some of the founding and applied sciences and technologies involved.



But there is more to engineering than having a definition of technology. In order to develop and manage technology you need special competences.

1.2 Competence

Competence⁴ can have many different special meanings, but in education it is used to state that you have a given competence, if you are competent to do a given thing. But still there could be two meanings: To have an ability to master something or to be certified to do it. It is the first meaning that is relevant here. Competence is concerned with what

⁴ From Latin 'competere': Be suitable.

you can *do* rather than what you know. But it is not simply a skill – it is a much broader ability. Qualification is a necessary precondition to do something – competence is to master it.

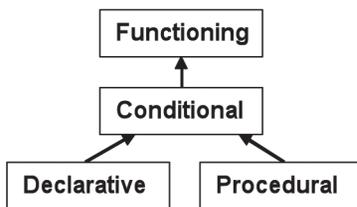
Competence is often described along different dimension – e.g. the following three: *knowledge, skill and attitude*.

The **knowledge** dimension goes from knowing specific unrelated facts to having an abstract holistic understanding.

The **skill** dimension goes from being able to follow simple scripts to having complex problem-solving capacity – i.e. combine, adapt and develop actions to unknown and unforeseen applications. The skill dimension is not just the ability to do, but also the ability to entertain healthy scepticism about what you know or what you are told (Wiske 1998 p. 172).

The **attitude** dimension goes from being open to new phenomenon to building up a total view of the world by evaluating and relating abstract concepts (Krathwohl, Bloom and Masia 1964).

Figure 3: Competence hierarchy



Biggs (2003 p. 41f) describes correspondingly that competence (knowledge in his terminology) comes in various kinds as illustrated in figure 3.

Declarative, or propositional, knowledge refers to knowing about things; *knowing what*.

Procedural knowledge is skill-based without knowing why. It is a matter of getting the sequences and actions right – knowing what to do; *knowing how*.

Conditional knowledge subsumes both procedural and declarative knowledge, and that one knows when, why, and under what conditions, one should do this as opposed to that.

Functioning knowledge is based on the idea of performances of understanding. Functional competence can be seen as the broad competence obtained by putting knowledge (declarative competence) and skills (procedural competence) to work under the guidance of attitudes (conditional competence).

Generic competences - also called personal, general, process or even soft competences - are what we all should possess in order to function in a modern society. The most common generic competences are the ability to work *independent*, to participate in *team work*, to *communicate*, to do clear *presentations*, etc. But other generic competences like the ability to *learn* (“lifelong learning”) and being *flexible* (“globalisation”) are getting increasingly important.

Linhardt, Young and Merriman (1995) make a distinction between ‘university’ knowledge and ‘professional’ knowledge:

University knowledge is declarative, abstract and conceptual. It deals with labeling, differentiating, elaborating and justifying.

Professional knowledge is functioning, specific and pragmatic. It deals with executing, applying and making priorities.

Professional competence is related to your profession, and can be defined in the following way:

The ability - in a given context - to apply your
knowledge
skills
attitudes
to analyse and to solve relevant real-world problems

The important thing to notice here is that competence is associated with the ability to do something practical in relation to one's profession.

When translating professional competence to specific engineering competence, the question is what kinds of knowledge, skills and attitudes are necessary. However, it is not the elements who define

competence, but the outcome of letting knowledge and skills interact in application under the governance by attitudes. Accordingly the engineering competence will not directly be defined along the different dimensions, but in a more general way.

Engineering competence

There is hardly anyone, who will object to the statement that the outcome of engineering education should be an overall integrative capability to cope with real-life, complex, ill-defined and uncertain tasks. "Tasks" are here to be understood in a very broad sense, including both problem-solving in a more narrow sense, design and development of new artefacts, implementation of new technology etc. (Manifesto from the participants in the John Bowden workshop on curriculum development at DTU on October 9th and 10th 2003).

Based on the discussion of engineering science a suggestion for a general engineering competence, which focuses on engineering problem solving, could be:

The ability to

- analyse unforeseen complex ill-defined open problems
- reduce to solvable technical problems
- estimate outcome and handle high uncertainty
- design creative and innovative solutions
- evaluate quality and limitations of the solutions
- meet demands and expectations from employers, customers and society
- respect professional standards and ethics

In Appendix 1 and 2 are given two examples of more detailed engineering competence definitions. The first one is to be used with accreditation. The second one is a curriculum for a special teaching methodology. These definitions explicit include generic competences like communicative and team-working skills etc. In the above general definition the generic competences are not directly stated – they are means and not end-goals for engineering. But implicitly they are present; it will not be possible to obtain the stated abilities without them. Math, physics and relevant technical knowledge and skills are also only implicit in the above definition.

The competence we want our students to acquire has in an educational setting to be transferred into learning objectives.

1.3 Learning objectives

The most compelling reason for using aims and objectives is that it forces us as teachers to make our intentions for student learning explicit. There ought to be a definite educational justification for every activity, every piece of content, that is presented in a course of study (Ramsden 2003 p. 128).

Learning objectives can be stated as *performance* objectives (end goals describing observable actions) and as *developmental* objectives (i.e. with focus on the learning process).

Performance objectives

Many – especially within the engineering community – strongly recommend performance learning objectives. They have the clear advantage of being directly observable, and in this way easy to assess and therefore directly motivating for the students' studying and learning. Richard Felder (Felder and Brent 2001) calls these instructional objectives and states that they have the form:

At the end of this course the student should be able to ***
where *** is a phrase that begins with an **action word** (e.g., *list, calculate, estimate, describe, explain, predict, model, optimize, ...*).

See Example at the end of the chapter.

Objectives like *the student will know/learn/appreciate* are critically important goals, but they are not directly observable and therefore not instructional objectives.

General examples of instructional objectives can be seen in Felder and Brent (1997, 2004). Some specific instructional objectives tailored to the ABET⁵ Engineering Criteria 2000 are given in Felder and Brent (2003).

⁵ Accreditation Board for Engineering and Technology (USA).

Taxonomy

When stating competence learning objectives it is very important to specify the level. The most widely used taxonomy is that of **Bloom** (Bloom et al. 1956) with 6 levels:

1. Knowledge
2. Comprehension
3. Application
4. Analysis
5. Synthesis
6. Evaluation

The last three categories in Bloom's taxonomy – synthesis, analysis, and evaluation – are often referred to as Bloom's higher level thinking skills.

Bloom's taxonomy has been much debated, and there are problems in interpreting the different levels. One problem concerns level 2 and 3. Can you comprehend something without being able to apply it? – Or is comprehension anything else than the ability to application? Wiske (1998 p. 40f) writes that understanding is the ability to think and act flexible with what one knows – i.e. to perform in another domain than the one in which it has been learned. To understand means no more or no less than to be able to perform flexible. The flexible performance capability is the understanding. *Die Anwendung bleibt ein Kriterium des Verständnisses* (Ludwig Wittgenstein 1947, 146).

Another problem concerns level 4 and 5. In engineering synthesis is often considered just to be the reverse of analyses: In analyses you take things apart – in synthesis you put them together; there really is no difference in level.

Brødslev Olsen (1993) gives this useful interpretation of Bloom:

Knowledge (repeating from memory): Remembering through recognition or recall. Includes remembering all from facts to theories.

Comprehension (demonstrating understanding of terms and concepts): Being able to apply theory in the context in which it is learned.

Application (applying learned information to solve a problem): Being able to select and apply theory flexible in a new domain.

Analysis (breaking things down into their elements): Formulating theoretical explanations or mathematical or logical models for observed phenomena – spot connections and organising principles.

Synthesis (creating something, combining elements in novel ways): Creating a knowledge *not* present before. This knowledge can be a theory or a procedure.

Evaluation (choosing from different alternatives and justifying the choice using specified criteria): Critical judgement – discuss ideas and theories according to their internal consistency and/or their applicability with respect to a given objective.

Action words can as shown in Appendix 3 be classified according to Bloom.

Instructional learning objects are *behavioural* in nature – i.e. related to the psychological theory called behaviourism, where you are only concerned with observable behaviour.

Behavioural learning objectives may be perfect for describing final engineering competence and a good place to start when thinking about and writing learning objects. They are relatively easy to write and easy for students to understand. However, most people now think that watching behaviour is not the full story (Christensen 2005).

If behaviourism treats the organism as a black box, cognitive theory claims that there are more to learning than observed behaviour and recognises the importance of the mind in making sense of presented material. Constructivism suggests that the learner is much more actively involved in creating new meanings. Cognitive constructivists view learning as the process of adjusting our mental models to the real world. In order to teach well, we must understand the mental models that students use to perceive the world and the assumptions they make to support those models.

To that purpose there are taxonomies that reflect the learning process better than Bloom's taxonomy. One of the best known is the Structure of the Observed Learning Outcome (**SOLO**) Taxonomy (Biggs and Collis 1982, Biggs 2003).

The SOLO taxonomy describes learning outcomes at 5 levels in two groups (phases):

Quantitative Phase - The amount of detail increases

1.  **Prestructural:** I don't know anything

2.  **Unistructural:** I know one thing

Concrete, minimalistic understanding of an area. Focuses on a single concept in a complex case.

Corresponding action words: Name - Memorise - Do simple procedure

3.  **Multistructural:** I know lots of things

Indicates understanding of boundaries but not of systems. Understanding of several components but the understanding of each is discreet.

Corresponding action words: Enumerate - Classify - Describe - List - Combine - Do algorithms

Qualitative Phase - The details becomes integrated into a structural pattern

Qualitative Phase - The details becomes integrated into a structural pattern

4.  **Relational:** I can explain why

Indicate connection between facts and theory, action and purpose. Understanding of several components which are integrated conceptually. Can apply the concept to familiar problems or work situations.

Corresponding action words: Compare - Explain causes - Integrate - Analyse - Relate - Apply.



5. **Extended abstract:** I can explain why in many ways
 Conceptualizes at a level extending beyond what has been dealt with
 in the actual teaching. Can generalize to a new area.

Corresponding action words: Theorise - Generalise - Hypothesise - Estimate -
 Generate - Evaluate

The solo taxonomy is not without problems. First, the prestructural level
 where you are supposed not to know anything does not exist – you
 always have some kind of pre-understanding. And it is not really
 important whether you know one or more bits of knowledge; what
 matter is whether you know unrelated facts or have connected facts.

A more simple taxonomy can be extracted from the **ICE** approach to
 assessment and learning (Young and Wilson 2000 p. 3f):

1. **Ideas** are the building blocks of learning, and they are demonstrated
 when students convey:

- The fundamentals and basic facts
- Vocabulary and definitions

2. **Connections** occur, when learners are able to establish and articulate
 relationships among the individual elements of the fundamentals.
 Connections are made when students demonstrate:

- The relationship or connection among the basic concepts
- A relationship or connection between what was learned and
 what they already know

3. **Extensions** occur, when learners no longer make conscious
 connections among the bits or even their own experiences. Learners
 seem to internalize the learning to such a degree that it is the
 unconscious basis for interpreting new learning. Extensions are
 revealed when students:

- Use their new learning in novel ways, apart from the initial
 learning situation
- Ask and answer the question: So, what does this really mean?

The three ICE-levels corresponds to level 3-5 of SOLO, and they are
 described in a very cognitive constructivist way – they mirror the way

conceptual understanding grows from simple preknowledge through simple learning (assimilation – adding to your knowledge and thus expanding your model of understanding) and a final conceptual change (accommodation – making fundamental changes to your model of understanding in order to match it to new knowledge). In this way the levels are also easy to relate to developmental objectives.

Developmental objectives

It is not important what a graduate can, but the potential he/she has to being able to...

Objectives do not have to consist of ‘things that students can be observed to do’, as some proponents of behavioural objectives would try to have us believe. It is quite acceptable to think directly about the concepts that a student should understand (Ramsden 2003 p. 125).

As continuous learning objectives to monitor the learning process it is important with *non-performance* (non-behavioural) objectives, because we should strive for a comprehension that goes beyond application within the domain in which the subject is taught – and that will normally not be possible to demonstrate at the end of a course; it takes time to learn!

Developmental objectives concern the student’s development of models, methods and conceptual understanding. We should probe into which stage of the constructive learning process the student has reached. Developmental objectives are a supplement to the performance objectives, and they are important to the teacher’s reflection on how to structure a teaching sequence in order to support the student’s learning process.

An example of a developmental learning objective could be: *The student should know the difference between the common sense meaning of work and the way work is defined in physics* – i.e. the student should “de-learn” false preconceptions to get a sound starting point for construction of new understanding.

The best way to evaluate the students learning process is to analyse false answers to test questions. In this way you can see how far they are in the process of building new understanding.

2. Example

As an example is shown the translation from general engineering competences to specific performance learning objectives for a lesson on electronic filters.

Action words are coded according to the ICE taxonomy: 1 = **Ideas**; 2 = **Connections**; 3 = **Extensions**.

Engineering

The student should be able to

analyse(2) unforeseen complex ill-defined open problems

reduce(3) to solvable technical problems

estimate(3) outcome and handle(3) high uncertainty

design(2) creative and innovative solutions

evaluate(3) quality and limitations of the solutions

meet(3) demands and expectations from employers, customers and society

respect(3) professional standards and ethics

Electrical engineering

The student should be able to

analyse(2) *problems related to EE* and decide(3) if a technical solution is appropriate

reduce(3) to a problem solvable by *the methods of EE* and set up(2) specifications

model(2) a solution and estimate(3) the outcome

design(2) a solution that meet the specifications

evaluate(3) quality, limitations, hazards, impact on society and environmental effects

apply(2) international *regulations for EE*

Study program in electronic systems

The student should be able to

analyse(2) the requirements to an *electronic system* and set up(2) specifications

model(2) an *electronic system* and estimate(3) quality and limitations

break down(2) an *electronic system* into operational blocks

design(2), simulate(2) and **evaluate(3)** the performance of an *electronic system*

apply(2) international regulations for *electronic systems*

perform(2) a life-cycle analysis and **evaluate(3)** impact on society and environment

Course in signal processing

The student should be able to

analyse(2) a *signal processing* problem and set up(2) interface specifications

model(2) a *signal processing* system

select(3) processing (digital/analogue) and implementation (hardware/software) methods

design(2) and **simulate(2)** a *signal processing* system

Lesson on electronic filters

The student should be able to

define(1) the concept of the ideal filter

describe(1) the bad features of the ideal filter

calculate(1) the impulse response of an ideal filter

analyse(2) a given frequency response to determine if the system is physical realizable

design(2) physical filters that are approximations to ideal filters

3. Appendices

3.1 Appendix 1

From Engineering Criteria 2000 of the American accreditation agency ABET

Criterion 3 outcomes

Programs must demonstrate that their graduates have:

- a. an ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering
- b. an ability to design and conduct experiments, analyze and interpret data

- c. an ability to design a system, component, or process to meet desired needs
- d. an ability to function on multidisciplinary teams
- e. an ability to identify, formulate, and solve engineering problems
- f. an understanding of professional and ethical responsibility
- g. an ability to communicate effectively
- h. the broad education necessary to understand impact of engineering solutions in a global and societal context
- i. a recognition of the need for and an ability to engage in lifelong learning
- j. a knowledge of contemporary issues
- k. an ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice

3.2 Appendix 2

From the CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) initiative

The CDIO Syllabus in condensed form

- a. Technical knowledge and reasoning
 - Knowledge of underlying sciences
 - Core engineering fundamental knowledge
 - Advanced engineering fundamental knowledge
- b. Personal and professional skills and attributes
 - Engineering reasoning and problem solving
 - Experimentation and knowledge discovery
 - System thinking
 - Personal skills and attitudes
- c. Interpersonal skills: teamwork and communication
 - Teamwork
 - Communication
 - Communication in foreign languages
- d. Conceiving, designing, implementing and operating systems in the enterprise and societal context
 - External and societal context
 - Enterprise and business context
 - Conceiving and engineering systems
 - Designing

- Implementing
- Operating

For more details see www.cdio.org

3.3 Appendix 3

Action words according to Bloom

Knowing hending	Compre	Applying	Analysing sising	Synthe	Evaluating
Describe	Clarify	Apply	Analyse	Adapt	Approve
Identify	Demonstrate	Calculate	Break down	Combine	Assess
List	Elaborate	Code	Categorise	Create	Decide
Locate	Explain	Modify	Classify	Design	Discuss
Name	Generalise	Revise	Delineate	Initiate	Estimate
Quote	Infer	Solve	Diagram	Invent	Evaluate
Recall	Interpret		Distinguish	Model	Examine
Recognise	Rephrase		Organise	Set up	Judge
State	Translate		Outline	Synthesise	Prioritise
			Reduce		Select
			Simulate		Validate

4. References

- Biggs, J.B. (2003): *Teaching for Quality Learning at University*, 2nd Edition, The Society for Research into Higher Education & Open University Press
- Biggs, J.B. and Collis, K. (1982): *Evaluating the Quality of Learning: the SOLO taxonomy*, Academic Press
- Bloom, B., Englehart, M., Furst, E., Hill, W. and Krathwohl, D. (1956): *Taxonomy of Educational Objectives. The Classification of Educational Goals. Handbook 1: Cognitive Domain*, McKay
- Brødslev Olsen (1993): *Kreativ voksenindlæring*, Aalborg Universitetsforlag (in Danish)
- Christensen, H.P. (2005): *At the crossroad between behaviourism and cognitive constructivism*, SEFI Annual Conference, September 7th – 9th, Ankara, Turkey

- Felder, R.M. and Brent, R. (1997): *Objectively Speaking*, Chemical Engineering Education 31, 178-179
- Felder, R.M. and Brent, R. (2001): Notes from workshop on Efficient University Teaching, DTU
- Felder, R.M. and Brent, R. (2003): *Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria*, Journal of Engineering Education 92, 7-25
- Felder, R.M. and Brent, R. (2004): *The ABC's of Engineering Education: ABET, Bloom's taxonomy, cooperative learning, and so on*, Proceedings of the 2004 ASEE Annual Conference & Exposition
- Krathwohl, D.R., Bloom, B.S. and Masia B.B. (1964): *Taxonomy of educational objectives, Book 2: Affective domain*, Longman
- Kuhn, T.S. (1996): *The Structure of Scientific Revolutions*, 3rd Edition, The University of Chicago Press (1st Edition 1962)
- Matthew, R.G.S. and Hughes, D.C (1994): *Getting a deep learning: a problem-based approach*, Engineering Science and Educational Journal, October, 234-240
- Ramsden, P. (2003): *Learning to Teach in Higher Education*, 2nd Edition, RoutledgeFalmer
- Wiske, M.S. ed. (1998): *Teaching for Understanding – Linking Research with Practice*, Jossey-Bass
- Wittgenstein, L. (1947): *Philosophische Untersuchungen*
- Young, S.F. and Wilson, R.J. (2000): *Assessment and Learning: The ICE approach*, Portage & Main Press

Objetivos de los programas de formación de ingeniería

*Por: Germán Hernández y Julio Colmenares,
Freddy Vargas, Joan Larrahondo, Paulo Guatame,
Universidad Nacional, Colombia*

Este capítulo presenta una visión general de discusiones actuales acerca de los objetivos de formación de los programas de pregrado en ingeniería tanto en Colombia como en el ámbito internacional.

1. Introducción

Es innegable la estrecha relación que existe entre el desarrollo económico y social de un país y el nivel de desarrollo de su ingeniería (calificación de capital humano y capacidad de su plataforma productiva y tecnológica, etc.). En buena medida, esta relación permite identificar qué características ha tenido el debate interno sobre cómo educar a sus ingenieros [1]. Es por ello, que este proceso ha convertido a la formación de ingenieros en un campo de estudio en sí mismo. Ejemplo de esto, es el caso de los Estados Unidos, país en el cuál desde 1918 diferentes sectores, entre academia, industria o el gobierno, realizan reportes sobre educación en ingeniería, los cuales son revisados y presentados nuevamente cada 10 a 15 años; esto con el propósito de situar a las facultades y programas de ingeniería a la par de las necesidades y requerimientos de cada época [2]. Como se verá adelante, las conclusiones de estos debates han tenido algunas implicaciones para el caso colombiano.

A su vez, en los últimos 30 años se han presentado espectaculares cambios en la sociedad mundial, entre otras cosas, el desplome de algunas barreras políticas, una ebullición permanente de avances tecnológicos, firmas de convenios internacionales comerciales y financieros, fortalecimiento de organismos multilaterales a la vez que de empresas multinacionales con capacidad para movilizar ágilmente capitales entre diferentes regiones del globo. Estos fenómenos han generado lazos de interdependencia muy fuertes entre los países, pues a la vez que están

más conectados a través de sus medios de comunicación, de sus aparatos productivos, también están abocados a compartir sus vulnerabilidades financieras, sus ondulaciones en la oferta de mano de obra y de acceso y producción de alimentos. Así, la vida en sociedad hoy, es entonces, más globalizada, cambiante e incierta [3].

Como era de esperarse, un mundo cambiante genera importantes interrogantes a los sistemas educativos nacionales acerca del tipo de educación que debe impartirse y la forma como debe hacerse, para cada una de las profesiones y en cada uno de los niveles de formación. Por supuesto, las facultades de ingeniería no han sido ajenas a este fenómeno, por ello las discusiones permanentes acerca de lo que debe aprender hoy un estudiante de ingeniería en sus diferentes etapas de formación (pregrado, especialización, maestría y doctorado) para responder acertadamente a las demandas profesionales.

En este capítulo se ilustra a través de diferentes procesos de discusión y de definición de lo qué debe ser un programa de pregrado de ingeniería hoy, algunos elementos que hacen parte de las discusiones acerca de la formación de ingenieros.

Por ello se presenta una visión global de las competencias esperadas en los graduados de los programas de ingeniería en Colombia, tomando como insumo lo planteado tanto en las propuestas de actualización y modernización curricular para las diferentes ingenierías que fueron desarrolladas por ACOFI para el ICFES entre 1995 y 2000 [4], así como, los marcos de fundamentación conceptual para las pruebas ECAES desarrolladas también por ACOFI para el ICFES en 2005 [5].

Luego se presentan los trabajos más relevantes planteadas en: (a) los criterios ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) para acreditar los programas norteamericanos de ingeniería [6] y las competencias que plantea la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos que debe adquirir hoy un estudiante de ingeniería para ser un graduado exitoso en el año 2020.[2]; (b) las competencias genéricas de un graduado universitario que plantea el proyecto Tuning de unificación del sistema de educación europeo y las competencias específicas que plantea la Federación Europea de Asociaciones Nacionales

de Ingeniería FEANI [7] y (c) las competencias esperadas de los graduados de los programas de ingeniería civil, eléctrica, mecánica y química que se plantearon en la especificación de los exámenes nacionales de programas de pregrado ENC Provão aplicados en Brasil [8].

Estas discusiones permiten finalizar esta sección con una comparación y una agrupación general de las competencias que a ojos de los autores son comunes, pero también fundamentales en la formación en pregrado en ingeniería.

Posteriormente, y como telón de fondo se ilustran las conclusiones del acápite anterior a través de la reforma académica de los programas de computación de Georgia Tech, que según Thomas L. Friedman, autor del libro *El mundo es plano* [9], es una iniciativa de reforma académica que puede considerarse como modelo para responder a los retos que la globalización y el crecimiento de China e India le están imponiendo a la ingeniería en Norteamérica, y que es una solución creativa y novedosa al permanente cuestionamiento sobre los currículos de los programas de ingeniería.

Se concluye este capítulo con versión incluyente y sintética de lo que podría considerarse hoy como objetivos de los programas y las competencias de los graduados para los programas de ingeniería en Colombia.

2. De la formación por contenidos a la formación por competencias

Debido en parte, a los mares de información que permanentemente inundan los medios de comunicación especializados, journals, páginas Web, eventos académicos, entre otros, propios de un mundo globalizado, pero también debido a recientes demandas de adaptación laboral, cada vez es más recurrente en las discusiones sobre formación en pregrado, la necesidad de pasar de un discurso de formación por contenidos a uno de formación por competencias.

Para el caso colombiano, este tránsito se visibiliza en las demandas que a través de los procesos de evaluación, mejoramiento (reforma) y acreditación de la calidad se realizan constantemente a las facultades de

ingeniería a la hora de definir los objetivos de formación de los pregrados que ofrecen. Concretamente, a través de tres escenarios se observa este cambio. Objetivos de formación en función de competencias, en primer lugar, se espera que sean el punto de partida en el diseño curricular de un programa determinado, lo que permitirá establecer qué se debe evaluar y de qué manera evaluar el desempeño de los estudiantes en los cursos que componen el programa curricular en concreto (Ver Christensen Sección uno); en segundo lugar, permitirá evaluar la formación de futuros egresados de los programas de acuerdo a estándares previamente acordados —pruebas ECAES [5] ; y en tercer lugar, permite establecer unas condiciones mínimas e ideales que debe cumplir un programa para garantizarle a la sociedad que sus estudiantes están a la altura de los retos que demanda el mundo profesional; ejemplos de esto son los estándares mínimos de calidad definidos por el Ministerio de Educación Nacional [10] y las condiciones de alta calidad del CNA [11].

Cuando se diseña un programa curricular, en particular uno de pregrado en ingeniería, se espera que al menos se planteen interrogantes como:

- ¿Cuáles son los objetivos de formación que deben alcanzar los estudiantes que cursen este programa curricular?
- ¿Estos objetivos de formación son consecuentes con las necesidades de mano de obra del mundo laboral?

Esta situación pocas veces se da, especialmente en escenarios de formación poco desarrollados, pues generalmente el punto de partida de estas discusiones no son los objetivos de formación sino los recursos (humanos, tecnológicos e ideológicos) con los que cuentan las facultades para diseñar e implementar programas curriculares —amen de otras características no académicas del mundo de los académicos [12]. Como lo ha demostrado sobradamente la experiencia, estas características estructurales de partida pueden alcanzar un alto protagonismo en el diseño de los programas, haciendo a un lado las preguntas que arriba se exponían.

Sin embargo, y en un escenario ideal, se espera que estas preguntas sean respondidas, teniendo en cuenta algunas de las siguientes unidades de análisis, es decir, que las respuestas se planteen en términos de:

- objetivos educativos [13],

- destrezas-habilidades (skills) [14],
- competencias-capacidades [15][16].

Aunque estas unidades no son completamente equiparables entre sí, dependiendo como se las conciba pueden considerarse equivalentes [5]. Más allá de la denominación que se utilice para dar respuesta a las preguntas planteadas, se hace necesario tener en cuenta cómo han sido diseñadas, cuáles son y cómo se valoran sus indicadores de logros, y su relación con otras unidades, además del nivel de especificidad de las mismas (si son normativas o dan grados de flexibilidad para ser interpretados) [17].

Para efectos de este capítulo los objetivos de formación esperados se plantean en términos de competencia, definida así [18]:

“...corresponde a una combinación interrelacionada de destrezas cognitivas y prácticas, conocimiento (incluyendo conocimiento tácito), motivación, valores, actitudes, emociones y otras componentes que juntas pueden ser movilizadas para lograr una acción efectiva en un contexto particular”.

3. Propuesta de objetivos de formación en ingeniería

En diferentes documentos se hacen llamados por una evaluación de la formación de estudiantes de ingeniería, aunque en el presente capítulo se dará mayor importancia a los esfuerzos colectivos donde convergen actores de diferentes organizaciones, vale la pena resaltar los documentos escritos por Felder y otros [19], DeGraaf y Ravesteij [20], así como para el contexto colombiano en particular se encuentran los documentos de Duque y otros [21], que hacen una radiografía de la formación en ingeniería, la innovación y el desarrollo tecnológico del país, y el documento de Rocha y otros [22] que sienta una posición de lo que se espera de los egresados de las facultades de ingeniería en la actualidad.

3.1 ICFES, ACOFI & ECAES

El Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES) y la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

(ACOFI), desarrollaron entre 1995 y 2000 el proyecto denominado actualización y modernización curricular en ingeniería que en su primera etapa incluyó las ingenierías mecánica, química, eléctrica, civil e industrial; este trabajo posteriormente se extendió para incluir a las ingenierías agrícola, agroindustrial, ambiental, de alimentos, de minas, de petróleos, de sistemas, electrónica, forestal, geológica, metalúrgica y materiales y minas [4].

Este proyecto tuvo como tarea inicial establecer los perfiles de los egresados para estos programas en Colombia, lo cual se desarrolló a partir de reuniones de discusión que incluyeron autoridades académicas de los programas, representantes de las asociaciones profesionales y del sector productivo en diferentes regiones del país. Como resultado, se generaron los perfiles de los ingenieros colombianos en cada especialidad, los cuales se pueden sintetizar de manera breve así:

- Perfil académico común
 - Capacidad de lectura, escritura y facilidad de expresión en público
 - Formación ética y conciencia ambiental
 - Creatividad y capacidad de solución de problemas
 - Conocimiento de la realidad nacional e internacional
 - Dominio de las matemáticas y de las ciencias naturales básicas que le permitan comunicarse con otros ingenieros y científicos
- Perfil profesional específico
 - Dominio de las ciencias naturales y de las matemáticas particulares que fundamentan su especialidad
 - Capacidad de proveer soluciones técnico-económicas óptimas
- Perfil ocupacional específico
 - Capacidad para formular, diseñar, planear, ejecutar, controlar, gestionar y optimizar proyectos, procesos o productos en su área especialidad. No se espera que un recién graduado tenga la responsabilidad completa en estas tareas pero si se espera que a medida que acumula experiencia su nivel de responsabilidad sea mayor.
 - Dependiendo del desarrollo profesional, puede participar en la creación, organización, dirección y/o administración de organizaciones, empresas o instituciones. Paralelamente se espera que algunos

profesionales puedan divulgar sus conocimientos a través de la docencia.

En 2005, el ICFES y ACOFI desarrollaron un segundo proyecto que buscaba establecer las competencias que se deberían evaluar a los estudiantes de ingeniería de último año en Colombia, en la pruebas de calidad de educación superior ECAES⁶. Como resultado de este proyecto, se produjeron los marcos de especificación conceptual para estas pruebas [5]. Para elaborar estos marcos, primero se seleccionaron los programas internacionales que se consideraban como referentes por su calidad, trayectoria e impacto en la definición de cada especialidad de ingeniería, luego se revisaron los programas nacionales buscando establecer las características particulares que pudieran tener los programas en Colombia. Como resultado de esto se tiene una versión actualizada en términos de competencias de lo que se espera de un graduado de programa de ingeniería, las cuales se dividen en:

1. Competencias que un profesional de cualquier disciplina o profesión debe tener al finalizar su formación de pregrado:
 - a. Actitud y capacidad para el aprendizaje continuo a lo largo de la vida (tanto de temas de su profesión o disciplina, así como de otras áreas que le permitan comprender a nivel local y global, el contexto histórico, político, social, económico y ambiental de su quehacer)
 - b. Actitud y capacidad para trabajar en grupos multidisciplinarios y multiculturales en contextos nacionales e internacionales
 - c. Habilidad para trabajar de manera autónoma
 - d. Capacidad de análisis, síntesis, planeación, organización y toma de decisiones
 - e. Capacidad para aplicar el conocimiento en la práctica
 - f. Excelente capacidad comunicativa (oral y escrita) en lengua nativa, en una segunda lengua y en lenguajes formales, gráficos y simbólicos
 - g. Creatividad
 - h. Ingenio (capacidad de combinar, adaptar y planear soluciones prácticas a problemas complejos)

⁶ En todo caso, vale la pena valorar, hasta que punto es posible garantizar las diferentes competencias que debe desarrollar un profesional, sin importar el área de conocimiento, a través de un examen masivo y estándar. Este sería a lo sumo un mecanismo mas de una serie de prácticas acordadas con el mundo laboral en el que van a desempeñarse.

- i. Iniciativa, espíritu empresarial, capacidad de emprendimiento, liderazgo y actitud triunfadora para desarrollar acciones y construir empresas exitosas que lleven a la realidad las soluciones que propone, aplicando de manera efectiva en estas los principios de los negocios y la administración
 - j. Compromiso con la calidad
 - k. Compromiso con la calidad
 - l. Dinamismo, agilidad, elasticidad y flexibilidad (para adaptarse al carácter incierto y cambiante del mundo)
 - m. Ética profesional y responsabilidad social como orientadoras de su quehacer
 - n. Actitud hacia el desarrollo de acciones para mejorar las condiciones de vida de la población
 - o. Habilidad y actitud investigativa
 - p. Habilidad para administrar información (habilidad para recolectar, analizar y seleccionar información de diversas fuentes)
 - q. Habilidades críticas y auto-críticas
 - r. Habilidades interpersonales
 - s. Habilidades computacionales básicas
2. Competencias específicas adicionales que un profesional de ingeniería debe tener al finalizar su formación de pregrado:
- a. Habilidades analíticas fuertes
 - b. Comprensión de las matemáticas, las ciencias naturales y las herramientas modernas de la ingeniería
 - c. Capacidad para modelar fenómenos y procesos
 - d. Capacidad para resolver problemas de ingeniería aplicando el conocimiento y la comprensión de las matemáticas, las ciencias naturales y las herramientas modernas de la ingeniería, utilizando un lenguaje lógico y simbólico
 - e. Capacidad para diseñar, gestionar y evaluar sistemas y procesos de ingeniería, teniendo en cuenta el impacto (social, económico y ambiental)

Se puede verificar que en el trabajo de 2005 se identifican muchas más competencias comunes a los graduados de diferentes áreas del conoci-

miento, no necesariamente de ingenierías. Las competencias específicas de ingeniería son amplias y pueden especificarse aún más para cada disciplina. El trabajo de ACOFI y el ICFES hace explícito que “Todas las competencias listadas son objetivos centrales en la formación de ingenieros competitivos, i.e., son competencias que deben ser desarrolladas y evaluadas, de manera explícita, en los currículos de ingeniería.”

3.2 ABET & NAE

En Estados Unidos, el Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) es la institución que se encarga de acreditar los programas de ingeniería y ciencias aplicadas en diferentes universidades del país. Para tal fin ha desarrollado ciertos criterios generales que los programas a acreditar deben tener en cuenta. En 1996 se aprobó una reformulación a los criterios que estaban vigentes por más de sesenta años; esta reformulación comenzó a aplicarse desde el año 2000 [23]. Este proceso estuvo a cargo de un grupo de reconocidos docentes universitarios y representantes de la industria. Dentro de los nuevos criterios se incluyeron once resultados de aprendizaje que todo egresado de ingeniería debería poseer. Este nuevo criterio de evaluación tuvo una pequeña reformulación en 2004 y los resultados de aprendizaje que están actualmente vigentes son:

Tabla 1. ABET - criterio 3. competencias de los estudiantes

	INGENIERÍA	CIENCIAS APLICADAS
(a)	Capacidad de aplicar el conocimiento de las matemáticas, ciencia e ingeniería	Capacidad de aplicar el conocimiento de las matemáticas, ciencia e ingeniería.
(b)	Capacidad de diseñar y de conducir experimentos, así como para analizar e interpretar datos	Capacidad de diseñar y de conducir experimentos, así como para analizar e interpretar datos
(c)	Capacidad para diseñar sistemas, componentes o procesos de acuerdo a las necesidades y dentro de restricciones reales de tipo técnico, económico, ambiental, social, político, ético, de salud y de seguridad.	Capacidad para diseñar sistemas, componentes, o procesos de acuerdo a las necesidades.

	INGENIERÍA	CIENCIAS APLICADAS
(d)	Capacidad para trabajar en equipos multidisciplinares	Capacidad para trabajar en equipos multidisciplinares
(e)	Capacidad de identificar, formular y solucionar problemas de ingeniería	Capacidad de identificar, formular y solucionar problemas de ciencias aplicadas
(f)	Comprensión de la responsabilidad profesional y ética	Comprensión de la responsabilidad profesional y ética
(g)	Capacidad para comunicarse de manera eficiente	Capacidad para comunicarse de manera eficiente
(h)	Educación amplia necesaria para entender el impacto de las soluciones de la ingeniería en un contexto global tanto social como económico y ambiental	Educación amplia necesaria para entender el impacto de las soluciones de las ciencias en un contexto global tanto social como económico y ambiental
(i)	Capacidad y reconocimiento de la necesidad de mantener una actitud de aprendizaje continua a lo largo de la vida.	Capacidad y reconocimiento de la necesidad de mantener una actitud de aprendizaje continua a lo largo de la vida
(j)	Conocimiento actualizado de los temas contemporáneos	Conocimiento actualizado de los temas contemporáneos
(k)	Capacidad para utilizar las técnicas, habilidades, y las herramientas modernas de la ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería.	Capacidad para utilizar las técnicas, habilidades, y las herramientas científicas modernas necesarias para la práctica profesional.

Fuentes: [11] y [16], traducción libre de los autores.

Requisitos para la acreditación de programas de ingeniería: pregrado

La agencia de acreditación académica ABET ha venido publicando criterios de acreditación y re-acreditación para programas de ingeniería y ciencia aplicada [6, 24]. Para programas básicos, i.e., pregrado, los criterios de acreditación evalúan los estudiantes, los objetivos del programa, los resultados del programa y su autoevaluación, los componentes

profesionales entre otras cosas. Algunos puntos a resaltar de los documentos citados se listan a continuación:

- a. Los estudiantes: la evaluación de la calidad técnica del egresado corre por cuenta de la misma institución educativa.
- b. Los objetivos del programa: los objetivos del programa, deben ser publicados y estar acordes con la misión de la institución. Además, se requiere que exista una evaluación periódica de los objetivos.
- c. Los resultados del programa y su autoevaluación: se debe mostrar evidencia de resultados en los egresados, al igual de la forma en la cual estos resultados retroalimentan el programa. Siguiendo la línea del criterio de resultados de aprendizaje, esto no sólo se limita a lo técnico, sino también incluye las habilidades comunicativas y el reconocimiento del impacto global de la profesión.
- d. Los componentes profesionales: es la preparación tanto general, en matemáticas y ciencia que los egresados deben poder demostrar. El plan de estudios debe culminar en un “major design” o “senior design” que incorpore los conocimientos adquiridos.

Aparte de ABET, en Estados Unidos, la Academia Nacional de Ingeniería (NAE, por sus siglas en inglés) ha desarrollado un ambicioso trabajo, sobre lo que se espera del ingeniero en el año 2020 [2]. Los resultados de este trabajo se publicaron en 2004 y se complementaron en 2005 con un documento sobre las recomendaciones para adaptar la educación de ingeniería para un ingeniero del 2020 [25]. Estos documentos definen una visión sobre lo que se aspira que la ingeniería represente en el año 2020 y se incluyeron los atributos que un ingeniero debe poseer para desenvolverse adecuadamente en el futuro:

- a. Fuertes habilidades analíticas
- b. Ingeniosidad práctica
- c. Creatividad (inventiva, innovación, arte)
- d. Buenas habilidades comunicativas (capacidad de comprensión de lectura, escuchar y expresarse efectivamente de manera oral, visual y escrita)
- e. Dominio de los principios de negocios y administración
- f. Liderazgo
- g. Altos estándares éticos y un fuerte sentido de profesionalismo (identificar cómo las soluciones de ingeniería afectan el entorno y las personas)

- h. Dinamismo, agilidad, flexibilidad y resiliencia
- i. Aprendizaje para toda la vida

Como se observó, las competencias presentadas por ABET y NAE son bastante amplias, en realidad deben ser asumidas como marcos de referencia que cada comunidad académica debe interpretar según sus intereses académicos y concepciones alrededor de la ingeniería. En el caso de los criterios ABET, se espera que las comunidades académicas realicen valoraciones y seguimientos a las competencias de sus egresados como punto de partida para que un programa de ingeniería pueda ser acreditado.

3.3 TUNING PROJECT & FEANI

El proyecto Tuning, a través del cual se espera unificar las estructuras educativas en Europa, considera que el lenguaje de las competencias, será la moneda común que permitirá establecer la comparabilidad de los diferentes títulos y grados que obtienen los estudiantes europeos en los diferentes países. En 2001 el proyecto estableció 30 competencias y realizó un estudio multinacional entre empleadores, estudiantes y académicos sobre la importancia relativa de estas competencias en la formación de profesionales. Las competencias definidas en este proyecto fueron:

Tabla 2. Competencias definidas por el proyecto TUNING

Competencias Instrumentales	Competencias Interpersonales	Competencias Sistémicas
<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de análisis y síntesis - Capacidad para organizar y planear - Conocimiento básico general - Fundamentación sólida en el conocimiento básico de la profesión - Comunicación oral y escrita en lenguaje nativo - Conocimiento de una segunda lengua 	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidades críticas y auto-críticas - Capacidad para el trabajo en equipo - Habilidades interpersonales - Habilidad para trabajar en equipos interdisciplinarios - Habilidad para comunicarse con personas de otras áreas 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad para aplicar conocimiento en la práctica - Habilidades de investigación - Capacidad para aprender - Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones - Capacidad para generar nuevas ideas (creatividad)

<ul style="list-style-type: none"> - Habilidades computacionales básicas - Habilidad para administrar información (habilidad para recolectar y analizar información de diversas fuentes) - Capacidad para solucionar problemas - Capacidad para la toma de decisiones 	<ul style="list-style-type: none"> - Apreciación de la diversidad y la multiculturalidad - Habilidad para trabajar en un contexto internacional - Compromiso ético 	<ul style="list-style-type: none"> - Liderazgo - Entendimiento de las culturas y costumbres de otros países - Habilidad para trabajar de manera autónoma - Capacidad para diseñar y administrar proyectos - Iniciativa y espíritu empresarial - Compromiso con la calidad - Espíritu triunfador
---	---	--

La Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingeniería FEANI y EUR-ACE (European Engineering Accreditation), que trabajan en el desarrollo de un marco europeo común para la acreditación de programas de ingeniería han publicado criterios sobre los resultados esperados de los programas en niveles de formación de primer ciclo (pregrado) y segundo ciclo (posgrado).

Los siguientes son los resultados académicos esperados:

Tabla 3. Objetivos educacionales académicos - FEANI

		Graduado Primer Ciclo	Graduado Segundo Ciclo
1	Conocimiento de las ciencias de ingeniería	Aplica el conocimiento de las matemáticas, ciencias, fundamentos de ingeniería y una especialización de ingeniería a procedimientos, procesos, sistemas o metodologías ingenieriles.	Aplica el conocimiento de las matemáticas, ciencias, fundamentos de ingeniería y una especialización de ingeniería a la conceptualización de modelos de ingeniería.
2	Análisis de problemas	Identifica, formula e investiga literatura y resuelve problemas de ingeniería de nivel intermedio, alcanzando conclusiones válidas, utilizando herramientas analíticas apropiadas a su disciplina o área de especialización.	Identifica, formula e investiga literatura y resuelve problemas de ingeniería complejos, alcanzando conclusiones válidas, utilizando los principios básicos de la matemática y las ciencias de ingeniería.

		Graduado Primer Ciclo	Graduado Segundo Ciclo
3	Diseño / desarrollo de soluciones	Diseña soluciones para problemas de ingeniería de nivel intermedio y esta en capacidad de contribuir al diseño de sistemas, componentes o procesos que cumplan con necesidades específicas con una apropiada consideración de la salud pública y la seguridad, y consideraciones culturales, sociales y ambientales.	Diseña soluciones para problemas de ingeniería complejos y el diseño de sistemas, componentes o procesos que cumplan con necesidades específicas con una apropiada consideración de la salud pública y la seguridad, y consideraciones culturales, sociales y ambientales.
4	Investigación	Conduce investigaciones de problemas de nivel intermedio; localiza, busca y selecciona datos relevantes de códigos, bases de datos y literatura; diseña y conduce experimentos para obtener conclusiones válidas.	Conduce investigaciones de problemas complejos incluyendo el diseño de experimentos, análisis e interpretación de datos y síntesis de la información para obtener conclusiones válidas.
5	Uso de herramientas modernas	Selecciona y aplica técnicas apropiadas, recursos y herramientas modernas de ingeniería, incluyendo la predicción y modelamiento de actividades de ingeniería, de nivel intermedio, con una comprensión de las limitaciones.	Crea, selecciona y aplica técnicas apropiadas, recursos y herramientas modernas de ingeniería, incluyendo la predicción y modelamiento de actividades complejas de ingeniería, con una comprensión de las limitaciones.

En la tabla 4 se presentan los resultados de habilidades transferibles, es decir, aquellas que son necesarias para la aplicación de la ingeniería y además aplicables a contextos más generales:

Tabla 4. Objetivos educacionales transferibles - FEANI

1	Trabajo en equipo e individual	Funciona efectivamente como individuo y como miembro o líder en equipos de ingeniería diversos.	Funciona efectivamente como individuo y como miembro o líder en equipos diversos y en condiciones multidisciplinarias.
---	--------------------------------	---	--

		Graduado Primer Ciclo	Graduado Segundo Ciclo
2	Comunicación	Se comunica efectivamente, sobre actividades de ingeniería de nivel intermedio, con la comunidad de ingenieros y la sociedad en general, es capaz de comprender y escribir reportes efectivos y diseñar documentación, hacer presentaciones efectivas y dar y recibir instrucciones claras.	Se comunica efectivamente, sobre actividades de ingeniería complejas, con la comunidad de ingenieros y la sociedad en general, es capaz de comprender y escribir reportes efectivos y diseñar documentación, hacer presentaciones efectivas y dar y recibir instrucciones claras.
3	El ingeniero y la sociedad	Demuestra una comprensión de los asuntos sociales, de salud, legales y culturales, así como las responsabilidades relevantes que conlleva la práctica de la ingeniería.	Demuestra una comprensión de los asuntos sociales, de salud, legales y culturales, así como las responsabilidades relevantes que conlleva la práctica de la ingeniería.
4	Ética	Comprende y está comprometido con la ética profesional, las responsabilidades y las normas de la práctica de la ingeniería.	Comprende y está comprometido con la ética profesional, las responsabilidades y las normas de la práctica de la ingeniería.
5	Ambiente y sostenibilidad	Comprende el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto social y reconoce la importancia de un desarrollo sostenible.	Comprende el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto social y reconoce la importancia de un desarrollo sostenible.
6	Gestión de proyectos y finanzas	Demuestra una conciencia y comprensión de las prácticas de gestión y de negocios, como el riesgo y el manejo del cambio, y comprende sus limitaciones.	Demuestra una conciencia y comprensión de las prácticas de gestión y de negocios, como el riesgo y el manejo del cambio, y comprende sus limitaciones.
7	Competencias interculturales	Trabaja en un ambiente internacional con la consideración apropiada de las diferencias en cultura, lenguaje y factores sociales y económicos.	Trabaja en un ambiente internacional con la consideración apropiada de las diferencias en cultura, lenguaje y factores sociales y económicos.
8	Aprendizaje a lo largo de la vida	Reconoce la necesidad de un aprendizaje independiente y durante toda la vida, y además posee la habilidad de involucrarse en él.	Reconoce la necesidad de un aprendizaje independiente y durante toda la vida, y además posee la habilidad de involucrarse en él.

Al igual que las competencias ABET, las definidas por FEANI y EUR-ACE deben tener un seguimiento para demostrar que se están desarrollando en los currículos de enseñanza de la ingeniería.

3.4 Brasil - PROVÃO

En Brasil se han venido realizando exámenes a los graduados de los programas de ingeniería civil, eléctrica, mecánica, química, a través de una evaluación denominada Examen Nacional de Programas de Pregrado ENC (conocido comúnmente como Provão) [8]. Se espera que los graduados tengan una sólida formación humanística; comportamiento ético, crítico y reflexivo; visión gerencial, sistémica y holística; espíritu emprendedor y proactivo; sean conscientes de la importancia de una formación permanente; con autonomía intelectual; conciencia de su papel como agente de transformación de la sociedad, y estar capacitado para:

- Desempeñarse adecuadamente en equipos multidisciplinares y multiprofesionales;
- Asimilar críticamente nuevas tecnologías y conceptos científicos en su área de conocimiento; y enfrentar nuevos retos tecnológicos y sociales;
- Actuar creativamente en la identificación y resolución de problemas considerando los aspectos políticos, económicos, sociales, ambientales y culturales como respuesta a las demandas de la sociedad;
- Consolidar conocimientos teóricos, como la capacidad para transmitirlos y comunicarlos;
- Desarrollar acciones profesionales para mejorar las condiciones de vida de la población.

Las competencias generales y específicas que se esperan de los graduados de los programas de ingeniería civil, eléctrica, mecánica, química en Brasil, están compendiadas en las siguientes tablas:

Tabla 5. Objetivos educacionales académicos - i PROVÃO

COMPETENCIAS Y HABILIDADES GENERALES			
Ingeniería Civil	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Mecánica	Ingeniería Química
(a1) Dominio culto de la lengua portuguesa	(b1) Dominio culto de la lengua portuguesa y utilizar el	(c1) Argumentación y síntesis ligada a la	(d1) Dominio culto de la lengua portuguesa

Ingeniería Civil	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Mecánica	Ingeniería Química
(a2) Organización, expresión y comunicación del pensamiento	lenguaje con claridad, precisión, propiedad en comunicación	comprensión y expresión de la lengua portuguesa	(d2) Organización, expresión y comunicación del pensamiento
(a3) Utilización del lenguaje con claridad, precisión, propiedad en comunicación, fluencia verbal y riqueza de vocabulario			(d3) Argumentación, persuasión y reflexión crítica
(a4) Lectura crítica de artículos técnicos y científicos.	(b2) Lectura crítica de artículos técnico-científicos	(c2) Lectura e interpretación de textos técnicos y científicos	(d4) Lectura crítica de artículos técnico-científicos
(a5) Conocimiento de términos técnicos utilizados en la lengua inglesa en el área de la Ingeniería Civil.	(b3) Comprensión y expresión en por lo menos una lengua extranjera		(d5) Capacidad de interpretación de información en la lengua inglesa
	(b4) Utilización de procedimientos con metodología científica	(c3) Utilización del método científico y conocimiento tecnológico para la práctica de la profesión;	(d6) Utilización de procedimientos de la metodología científica
	(b5) Raciocinio lógico, análisis y síntesis	(c4) Raciocinio espacial, lógico y matemático	(d7) Raciocinio lógico (d8) Análisis y Síntesis
	(b6) Identificación y solución de problemas	(c5) Raciocinio crítico en la identificación y solución de problemas	(d9) Raciocinio crítico en la identificación y solución de problemas
(a6) Asimilación, articulación y sistematización de conocimientos teóricos y metodológicos para la práctica de la profesión		(c6) Investigación, extracción de resultados, análisis y elaboración de conclusiones en la solución de problemas de Ingeniería Mecánica	(d10) Asimilación, articulación, y sistematización de conocimientos teóricos y metodológicos para la práctica de la profesión

Ingeniería Civil	Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Mecánica	Ingeniería Química
(a7) Administración de situaciones nuevas, desconocidas e imprevistas	(b7) Administración de situaciones inéditas, desconocidas y/o imprevistas	(c7) Asimilación y aplicación de nuevos conocimientos	(d11) Administración de situaciones nuevas, desconocidas e inesperadas
(a8) Observación, interpretación y análisis de datos e información	(b8) Observación, interpretación y análisis de datos e información	(c8) Observación, interpretación y análisis de datos e información	(d12) Observación, interpretación y análisis de datos e información
(a9) Utilización de los recursos informáticos necesarios para el ejercicio de la profesión			(d13) Utilización de los recursos informáticos necesarios para el ejercicio profesional

4. Computación en Georgia Tech

Los programas de Ingeniería de Sistemas y Computación en Estados Unidos han mostrado transformaciones importantes en los últimos años, las cuales se han visto reflejadas en la profesión misma. The National Association of Colleges and Employers recientemente publicó un informe con datos actualizados del salario anual promedio que los egresados de pregrado en diversas carreras están devengando en los Estados Unidos. Los egresados de los programas de Computer Sciences devengan actualmente 13.1% más de lo que ganaban en 2007. Este aumento en los salarios es importante, comparado con otras carreras como humanidades y liberal arts, que registraron un aumento del 12.6%, o ingeniería civil, que sólo aumentó un 6.4% [26].

Uno de los casos más interesantes de estas reformas, por la trayectoria de la institución educativa, ha sido el del College of Computing de Georgia Institute of Technology (Georgia Tech) en Atlanta GA. El College ofrece tres programas de pregrado [27]:

- Bachelor of Science in Computer Science
- Bachelor of Science in Computational Media
- Minor Computer Science

De estos, el plan de estudios del BS Computer Science fue reformado de una carrera clásica de 4 años hacia un programa denominado

*threads*TM, introducido en otoño de 2006. El nuevo programa esta formado por ocho *threads* o categorías de habilidad, así:

Tabla 6. Objetivos educacionales académicos - Threads

Modelamiento & Simulación	Representación de procesos naturales y físicos
Aparatos	Creación de aparatos en objetos físicos para uso en el mundo físico
Teoría	Teoría y principios de la disciplina de la computación
Informacion Internetworks	Representación, transformación, transmisión y presentación de la información
Inteligencia	Construcción de modelos de la inteligencia humana
Medios	Construcción de sistemas que creen formas de comunicación creativas
Personas	Diseño, construcción y evaluación de sistemas que tratan al ser humano como el elemento central
Plataformas	Creación de arquitectura de computo, sistemas y lenguajes

Este nuevo enfoque está encaminado a personalizar la educación, ya que la hace más acorde con las aspiraciones profesionales del estudiante. De igual manera, es un enfoque por relevancias, ya que está más al tanto de la realidad mundial y está dirigido a formar expertos en áreas específicas. Con 220 estudiantes matriculados en primer año, el College logró, gracias a esta reforma, un incremento de entre el 20 y el 33% en la demanda de matrículas para estudiantes de Computer Science [28, 29].

Los estudiantes escogen dos de los ocho threads, a su vez que deben escoger uno de cinco roles: empresario, innovador, comunicador, consultor o administrador público. Con base en estos roles, los estudiantes eligen dentro de grupos de clases electivas y actividades extracurriculares. Microsoft apoya la iniciativa de Georgia Tech, al punto de impulsar la creación de un programa de tres años en robótica con fondos de un millón de dólares.

Varios esfuerzos han seguido a la implementación del programa threads. En 2004, el College junto con el Departamento de Literatura, Comunicación y Cultura de Georgia Tech inició el programa de pregrado bachelor of science in computational media, el cual pretende que los ingenieros de sistemas estén preparados con una excelente noción sobre

el diseño requerido por los medios de comunicación [30]. En el mismo año, se creó un programa de doctorado en computación centrada en el ser humano (human-centered computing, HCC) enfocado a la humanización de la tecnología computacional.

Actualmente el programa de postgrado en ciencias de la computación de Georgia Tech se encuentra posicionado en el noveno lugar en Estados Unidos de acuerdo con las estadísticas de US News & World Report [31]. Así mismo, el programa en inteligencia artificial es séptimo, el programa en sistemas es décimo, el programa en teoría es noveno, el programa en gráficas/interacción con el usuario es cuarto y el programa en bases de datos es séptimo.

Ventajas y desventajas del nuevo programa

Las ventajas del programa Threads se pueden condensar como sigue:

- Hace del programa de computer science un currículo más acorde con la realidad global.
- Los empleadores obtienen una visión inmediata del perfil profesional del aspirante a un cargo con el nombre y descripción del título obtenido.
- Los roles en los que el estudiante se puede inscribir lo entrenan para la realidad del mundo profesional.

Estando los estudiantes centrados más en problemas asociados con el que hacer de la computación que con un cuerpo de conocimientos general, lleva consigo la pronta especialización y podría afectar en algo las habilidades investigativas, sin embargo, esto parece ser subsanable, en la medida en que los estudiantes ingresen a niveles de formación de segundo ciclo, donde el desarrollo de competencias investigativas es una prioridad, o las empresas donde laboran los inserten en programas de formación consecuentes con sus necesidades de producción. Fenómeno cada vez más pronunciado en los procesos modernos de producción de conocimiento [32]⁷.

⁷ "...un aumento del número de lugares en que puede crearse conocimiento; ya no se trata únicamente de las universidades y el cuerpo docente, sino también de institutos no universitarios, centros de investigación, organismos públicos, laboratorios industriales, centros de estudios, consultorías, por medio de su interacción..."

5. ¿Qué competencias debe desarrollar un Ingeniero que se forme en Colombia para estar acorde con las demandas del siglo XXI?

Como pudo observarse, a lo largo de este capítulo, las tendencias actuales de formación en ingeniería, se orientan cada vez más hacia profesionales que estén en capacidad de entender los cambios incesantes que se producen en la sociedad contemporánea, especialmente, en el mundo laboral. Por ello la tendencia se centra en el desarrollo de competencias como punto neurálgico de la formación de ingenieros y no exclusivamente en la apropiación de conocimientos, como sucedía antaño.

En síntesis, se sabe, entonces, que la sociedad contemporánea se caracteriza, entre otras cosas, por una renovación constante de conocimiento y esto ha cambiado considerablemente las prácticas de producción. La capacidad que tengan las empresas para allegar ingenieros que estén en capacidad de crear, manipular y reconfigurar conocimiento es uno de los principales recursos para hacerlas competitivas.

Simultáneamente, y como consecuencia de lo anterior, en el interior de las empresas están cambiando las formas piramidales de organización, dando paso, cada vez más, a formas horizontales de toma de decisiones a través de la conformación de redes de trabajadores del conocimiento; hoy se obedece más a la unión y separación de equipos de profesionales de diferentes áreas --para la identificación y solución de problemas-- que al desarrollo individual, pasivo y repetitivo de tareas.

Así, la habilidad para manejar conocimiento y la capacidad para trabajar colectivamente deberán ser competencias básicas con las que debe contar un ingeniero. Para ser competitivo en la actualidad se necesita más que ser experto en un tema, se debe estar en capacidad de hablar y de escuchar al otro, de compartir y discutir ideas, de interpretar inquietudes y de tomar decisiones en equipo.

Al mismo tiempo, equipos de trabajo conformados por individuos de diferentes profesiones o disciplinas permiten un abordaje general de los problemas, y paralelamente, una visión más amplia sobre las implicaciones sociales que acompañan la puesta en marcha de soluciones

y proyectos. Aquí, el respeto, la tolerancia y la solidaridad permiten cuestionar continuamente la legitimidad de prácticas y proyectos.

Conocimiento, competencias y compromiso social están en el centro de las demandas que la sociedad le hace a los ingenieros hoy.

Sumado a lo anterior es importante advertir dos escenarios que sitúan de forma más clara el alcance de la formación de ingenieros en el contexto laboral actual:

1. Debido a la constante renovación y especialización del conocimiento ningún programa de formación profesional o disciplinar está en capacidad de contenerlo y
2. las instituciones de educación superior no tiene en la actualidad el monopolio sobre la creación y manipulación de conocimiento. Empresas, organismos públicos, laboratorios industriales, centros de investigación privados, etc., están desempeñando este papel a la par de éstas [32].

La situación arriba descrita invita a las facultades de ingeniería a reflexionar sobre lo que significa un pregrado. En la actualidad, a un pregrado le corresponde, entre otras cosas, la generación y el ofrecimiento de profesionales con actitudes y habilidades positivas frente al cambio, con potencialidades para crear y manipular conocimiento tanto de manera autónoma como colectivamente y con interés y habilidades para aprender sobre el terreno. Cuando se dice sociedad del conocimiento se piensa en una institución y profesional dispuestos para una sociedad del aprendizaje.

Esto significa que la apropiación del saber propio de cada profesión o disciplina es uno de los elementos a ofrecer, más no el único, éste debe estar acompañado de competencias laborales y profesionales acordes con la demanda de la sociedad.

Las facultades de ingeniería deben propiciar en sus estudiantes la generación de habilidades, competencias y actitudes que permitan el trabajo en equipo al ritmo que marca la renovación del conocimiento: flexibilidad, capacidad y velocidad de respuesta. Esto implica profesionales que se interesen por aprender por su propia cuenta, que adviertan

la importancia de actualizarse constantemente y que sepan seleccionar e integrar el conocimiento más apropiado para el contexto en el cual desarrollan sus labores.

El conocimiento particular de cada área del saber adopta otras tareas para la formación en ingeniería. Lo propio de la profesión debe permitir, entre otras cosas, la capacidad para analizar y sintetizar datos, generar, organizar y dirigir proyectos, debe ofrecer una mirada crítica frente a las posibles teorías, técnicas y métodos a utilizar en el trabajo con profesionales de otras áreas. Por esta vía, el conocimiento particular de cada una de las profesiones adquiere nuevas potencialidades y dinámicas, ya no es una única posibilidad de asimilar los problemas sino que es el mejor camino para adentrarse en discusiones, identificar y clasificar información.

En pocas palabras, debe despertar la habilidad para comunicarse y trabajar con expertos de otros campos.

En síntesis, la formación ofrecida por una facultad de ingeniería debe propender por acompañar la cualificación para el aprendizaje permanente de conocimientos propios de la disciplina o profesión con el desarrollo de competencias generales y actitudes que permitan desempeñar tareas y tomar decisiones en ambientes de riesgo y cambio constante.

La combinación de conocimiento y competencias es el piso para la formación de ingenieros que estén en capacidad de tomar decisiones a partir de la identificación académica de problemas.

6. Observaciones finales

Como se puede observar, las competencias esperadas de los egresados en ingeniería se están repensando en todo el mundo, sobre todo por los vertiginosos cambios que se presentan en el mundo actual en aspectos económicos, técnicos y sociales. Las propuestas enumeradas tienen en común que son objetivos o parámetros rectores generales, flexibles, que son susceptibles de interpretación por los docentes o los grupos de trabajo de cada universidad. Lo anterior es tan evidente que, por ejemplo, en Estados Unidos se han constituido grupos de trabajo que teniendo como marco los criterios ABET, los contextualizan y especifican más de

manera que sean más útiles y menos etéreos para los profesores en las clases. En este mismo libro Christensen profundiza sobre los objetivos de aprendizaje, cómo definirlos y cómo tener en cuenta los requerimientos de desarrollo de competencias específicas en los mismos.

Aunque siendo un ejercicio algo reduccionista, porque se espera que los egresados posean todas las competencias básicas citadas, se podrían clasificar las competencias según lo que los docentes u organizaciones esperan que los estudiantes sepan (de conocimiento), piensen (de actitud) y hagan (de comportamiento). Por facilidad conceptual se pueden nombrar de manera independiente, pero en el mundo laboral el logro exitoso de fines requerirá de “una combinación interrelacionada de destrezas cognitivas y prácticas, conocimiento (incluyendo conocimiento tácito), motivación, valores, actitudes, emociones y otras componentes” y hacia la estructuración de propuestas educativas que garanticen el desarrollo de éstas competencias es hacia donde deben dirigirse los centros educativos.

7. Referencias

- [1] B. Seely, Patterns in the History of engineering Education Reform: A brief essay. In: Educating the engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century - Appendix A. NAP Press 2005. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/11338.html>
- [2] The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century. National Academy of Engineering (NAE). NAP Press, 2004. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/10999.html>
- [3] A. Giddens. Un mundo desbocado. Los efectos de la globalización en nuestras vidas. Taurus. 2000.
- [4] ICFES - ACOFI. Actualización y modernización curricular en Ingeniería. Disponibles en: <http://www.acofi.edu.co/Publiactualizacioncurri.htm>
- [5] ICFES - ACOFI. Ver Marcos de fundamentación conceptual especificaciones ECAES par alas ingenierías. Disponibles en: www.icfes.gov.co
- [6] ABET - Engineering Accreditation Commission (2004). Criteria for Accrediting Engineering Programs - Effective for evaluations

- during the 2005-2006 Accreditation Cycle. Baltimore, MD, ABET, Inc.: 24.
- [7] FEANI. Accreditation of European Engineering Programmes and Graduates. 2005. Disponible en: http://www.feani.org/EUR_ACE/EUR-ACE%202/EUR_ACE2_Currentdocuments.htm
- [8] INEP. Exame Nacional de Cursos (ENC-Provão). Disponible en: Brasil. <http://www.inep.gov.br/superior/provao/default.asp>
- [9] T. L. Friedman. The world is flat: a brief history of the twenty-first century. Farrar Straus & Giroux. 2005.
- [10] Estándares mínimos de Calidad. Ministerio de Educación Nacional – Colombia. Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-130406.html>
- [11] Consejo Nacional de Acreditación, CNA. Acreditación de Alta Calidad. Disponible en: http://www.cna.gov.co/cont/acr_alt_cal/index.htm
- [12] P. Bourdieu. Homo Academicus. Standford University Press. Standford California. 1984.
- [13] R. M. Wolf, *Evaluation in Education: Foundations of Competency Assessment and Program Review*. New York: Praeger, 1990.
- [14] A. Doherty, J. Chenevert, R. R. Miller, J. L. Roth, and L. C. Truchan, “Developing intellectual skills,” in *Handbook of the Undergraduate Curriculum: A Comprehensive Guide to Purposes, Structures, Practices, and Change*, J. Gaff and J. Ratcliff, Eds. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 1997.
- [15] T. Evers, J. Rush, and I. Berdrow, *The Bases of Competence: Skills for Lifelong Learning and Employability*. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 1998.
- [16] N. E. Gronlund, *Assessment of Student Achievement*, 6th ed. Boston, MA: Allyn and Bacon, 1998.
- [17] M. Besterfield-Sacre, J. Shuman, Wolfe, J. Atman, J. McGourty, L. Miller, B.M. Olds, and M. Rogers, Defining the Outcomes: A Framework for EC-2000 IEEE Transactions on Education, Vol. 43, No. 2, May 2000.
- [18] International Bureau of Education Geneva. Key competences for all: an overarching conceptual frame of reference, Febrero 2003. Ver: http://www.voced.edu.au/td/tnc_79.292
- [19] A. Rugarcía, R. Felder, D. Woods y J. Stice. The future of engineering education. I. A vision for a new century. Chem. Engr Education. Vol. 34, No. 1, pp. 16-25. 2000.

- [20] E. De Graaf y J. Ravesteijn. Training complete engineers: global enterprise and engineering education. A. Eur. J. Eng. Ed. VOL 26, No. 4, pp. 419-427. 2001.
- [21] M. Duque, A. Gauthier, R. Gómez, J. Loboguerrero, A Pinilla, R. Aubad y H.López. Formación de Ingenieros para le innovación y el desarrollo tecnológico en Colombia. Dyna, No 128, 1999. pp 63-82.
- [22] G. Rocha, J. Aguilar, J. Barrera, J. Cadavid, R. Chaparro, J. Manrique y D. Santos. Reforma Académica en Ingeniería. Aspectos del proceso enseñanza-aprendizaje. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia., 2005.
- [23] L. Shuman, M. Besterfield-Sacre y J. McGourty. The ABET "Professional Skills" - Can They Be Taught? Can They Be Assessed?, Journal of Engineering Education, Vol. 94, N° 1, pp. 41-55. 2005.
- [24] ABET - Applied Science Accreditation Commission (2004). Criteria for Accrediting Applied Science Programs - Effective for evaluations during the 2005-2006 Accreditation Cycle. Baltimore, MD, ABET, Inc.: 23.
- [25] Educating the engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century - Appendix A.NAP Press 2005. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/11338.html>
- [26] Elmer, V. (2008, July 23, 2008). "Off to a Good Start." The Washington Post, from <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/07/22/AR2008072202709.html>
- [27] The College of Computing at Georgia Tech. (2008). "Undergraduate Programs." from <http://www.cc.gatech.edu/education/undergrad>.
- [28] Georgia Tech College of Computing. (2007). "A Generation in the Making (History of the College of Computing at Georgia Tech)." from <http://www.cc.gatech.edu/inside/history>.
- [29] McGee, M. K. (2006). "Innovative curriculum lures students to Georgia Tech." InformationWeek.com Retrieved Oct 2, 2006, from <http://www.informationweek.com/news/management/showArticle.jhtml?articleID=193100598>
- [30] Murray, C. (2006). "'Threads' wends new approach to computer science." Retrieved Thu, Oct 12, 2006, from <http://www.eschoolnews.com/news/top-news/index.cfm?i=41366&page=3>

- [31] US News & World Report. (2008). "America's Best Graduate Schools, America's Best Colleges." from <http://www.usnews.com/sections/rankings/>
- [32] M. Gibbons, Michael. Pertinencia de la educación superior en el siglo XXI. Banco Mundial. 1998.

Sección 2. | Estrategias de enseñanza - aprendizaje para la ingeniería

ACOPI



De la actividad al aprendizaje activo

Por: Hans Peter Christenses, DTU, Dinamarca

1. How to learn

1.1 Learning basics

There are many learning theories, and there is no consensus on how you learn, but empirical evidence indicates that some important aspects of learning can be summarized in the following sentence:

Learning is an active emotional process that fuelled by sensory and cognitive input takes place in the growth layer between the known and the unknown.

On basis of this it is possible to state some very simple operational rules that set up the conditions for learning:

That learning is an active process means that you have to **work** to learn.

That learning is an emotional process fuelled by sensory input means that learning is strongly influenced by the **context** in which it takes place.

That learning is an emotional process fuelled by cognitive input means that you have to be consciously **engaged** in the learning process.

That learning takes place in the growth layer between the known and unknown means that you need a sound **starting point** for your learning.

And finally: Learning takes **time**.

These rules may seem obvious, but they are very often ignored – if they were always taken seriously, much teaching would look differently.

Work: Learning is an active process, so without mental or physical activity no learning. This leads to Grand-ma's rule: *It's the one who works, who learns* – you cannot just lean back, and let someone else fill up your head with usable knowledge. It may be possible to transfer information from person to person, but *it is not possible directly to transfer understanding to another person – it is only possible to induce a learning process in another person*. You cannot use others understanding; the only way you can obtain understanding is by figuring things out yourself and create you own understanding. Activity is necessary for learning, but not sufficient to guaranty the intended learning.

Context: An important empirical finding is that *learning is context dependent*; you cannot learn independent of the context, you are in. The social, mental and physical environment influences learning significantly – it is important for the learning process to get many different inputs from the surroundings. If you have specific learning goals, you have to be in a suitable context to reach these goals. But knowledge obtained in one context is difficult to use in another context. A familiar example is that math learned in a math class very often is difficult to recall and use in an engineering course.

Engagement: Learning is a psychological process, which involves emotions and senses as well as the intellect, so the learner has to be involved; learning is not a mechanical process: *You have to be motivated and engaged to learn*. If you are not interested in the subject, you cannot learn. Learning must be conscious, if you have specific learning objectives; otherwise learning will be accidental.

Ideally, Jerome Bruner (1960 p. 14) writes, interest in the material to be learned is the best stimulus to learning, rather than such external goals as grades or later competitive advantage. Only *internal* motivation is of real value for learning the subject matter. *External* motivation like focus on assessment may be motivating for studying to pass the examination, but then the student will learn how to pass in stead of obtaining understanding of the subject matter.

Starting point: That learning takes place in the growth layer between known and unknown means that *new learning builds on existing knowledge*.

The model of the student as an empty vessel to be filled with knowledge provided by the teacher must be replaced. We interpret new information and experiences in terms of our existing mental constructs, connecting new pieces of information with our existing knowledge in ways which make sense to us and use new information to add to and rebuild our constructs. We construct our understandings over time.

Students come to a course with a range of prior knowledge, skills and concepts that significantly influence their abilities to acquire new knowledge. Students' initial conceptions provide the foundation on which the more formal understanding of the subject matter is built. This has some very important implications. If your existing knowledge is wrong, what you learn will be wrong.

An example is that our common-sense experience of work hinders the understanding of work as defined in Physics. Is a man working, if he is supporting a heavy tree in order to prevent it from falling? The man will probably say yes (and he probably is, if biological processes are included), but from a simple mechanical point of view he is not, if he is not moving.

Time: *It takes time to learn complex subject matter.* Expertise occurs only with major investments of time, and the amount of time it takes to learn material is roughly proportional to the amount of material being learned (Bransford et al. 2000 p. 58).

Deep learning

Learning for understanding is like learning a flexible performance – more like learning to improvise jazz or hold a good conversation or rack climb than learning the multiplication table or the dates of the presidents or that $F = m_a$ (Wiske 1998 p. 40).

To develop competence in an area of inquiry, students must: (a) have a deep foundation of factual knowledge, (b) understand facts and ideas in the context of a conceptual framework, and (c) organize knowledge in ways that facilitate retrieval and application (Bransford et al. 2000 p. 16). Factual knowledge and basic skills have to be learned in a meaningful context.

In a study comparing the effects of “learning a procedure” with “learning with understanding,” two groups of children practiced throwing darts at a target underwater. One group received an explanation of refraction of light. The other group only practiced dart throwing. Both groups did equally well on the practice task with a fixed target. But the group that had been instructed about the abstract principle did much better when they had to transfer to a situation in which the target was moved. Because they understood what they were doing they could adjust their behavior (cited Bransford et al. 2000 p. 56).

Deep understanding of subject matter transforms a large set of disconnected factual information into usable knowledge. Experts always draw on a rich body of knowledge, but “usable knowledge” is not the same as a mere list of disconnected facts. Experts’ knowledge is connected and organized around important concepts (e.g., Newton’s second law of motion). This influences their understanding of new information: It allows them to see patterns, relationships, or discrepancies that are not apparent to novices (Bransford et al. 2000 p. 16).

Transfer: If you don’t have a direct starting point to build on when a new topic is to be learned, you have to find an indirect starting point. Learning then depends on intrinsic transfer: Knowledge in a new area (domain) is obtained by building on transferred knowledge from a known domain (Bransford et al. 2000 p. 10). This is a very important process, but not easy, so it important to know the conditions for this to take place.

The first factor that influences successful transfer is the degree of mastery of the original subject. Without an adequate level of initial learning, transfer cannot be expected. A second factor is that abstract representations of knowledge can help promote transfer; knowledge that is overly contextualised can reduce transfer (Bransford et al. 2000 p. 51). This is the *contextual learning dilemma*: You learn in a given context, so your learning is contextualised; but you cannot use contextualised knowledge for transfer.

To be useful for transfer contextual knowledge must be de-contextualised, restructured and generalised into conceptual understanding. Schein (1969) describes this learning process with three

phases: *unfreezing, change and refreezing*. To obtain deep learning you have to overcome the natural resistance to changes. Old values have to be “de-learned” – this is unfreezing. When this resistance is broken, the learner is open to new information not compatible with the old knowledge and change can take place. But this is not the end of the process; the new knowledge must be integrated into the mental models – refreezing. Without this last generalisation phase you run the risk of returning to old values.

1.2 An active learning process model

The learning environment

It has no meaning to look at a learner in isolation. Learning takes always place in a context. It is therefore necessary to look at the total learning environment, when setting up an operational model for learning. You have to take the interaction with the environment into consideration. In formal education the learner interacts with the teacher and the subject to be learned. This is illustrated by the didactic triangle as shown in figure 1. However, this triangle is also placed in an environment, so the model should be expanded to include all factors in a formal learning environment.

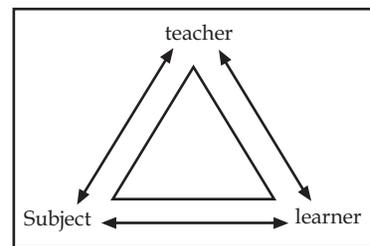


Figure 2: Didactic triangle

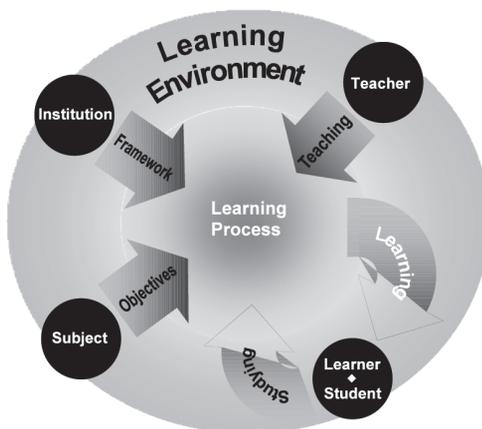


Figure 2: The total learning environment

The objective for a formal learning environment is to support the learner in reaching the learning objectives – to optimise the learning process. The teacher-supported learning process has as shown in figure 2 four adjustable inputs: *studying*,

facilitating, framework and learning objectives (Christensen 2004)⁸. The four agents in the learning environment are the *learner*, the *teacher*, the *institution* and the *subject matter*.

The learner is playing a double role: The learning output is to the learner, and as a student the learner supplies the studying input. This feedback loop is essential to the learning process, since new learning builds on old learning. The teacher supplies the facilitating, and the framework is given by the context controlled by the institution and includes physical surroundings (learning facilities) as well as mental conditions (rules and policies agreed upon as well as informal traditions). The learning objectives are derived from the curriculum, which may be predefined, but it is up to the teacher to formulate specific learning objectives and identify the core elements in the curriculum.

The agents are depending on each other in giving input to the learning process. The framework, even if it is flexibly designed, sets limits for the possible teacher and student action – but the student and teacher are part of the learning context, so their actions influence the framework. The facilitating encourages certain kind of actions from the student, but the teacher's options are influenced by the student response. The output from the learning process is very dependent on how the agents in the learning environment interact.

The double-loop feedback

Immanuel Kant opens his *Kritik der reinen Vernunft* (2nd ed. 1787) with the claim: Daß alle unsere Erkenntnis mit der Erfahrung anfangen, daran ist gar kein Zweifel.

You don't learn by doing, but by reflecting on what you have done (Bloom's assistant Lee Shulman from Stanford University at a keynote at the Earli Conference 2001).

The feedback loop in the active learning process is actually a double loop as shown in figure 3.

⁸ In Christensen (2004) there are only three inputs; learning objectives are added in this text.

Loop 1: In the first loop, which is driven by curiosity and motivation to figure things out and could be called **data collection**, the student conducts (on basis of his current model of understanding) some active doing (*experiments*) as input to the learning process, and as learning output the student gains *experience*. It is an empirical process, which results in tacit contextual knowledge.

Loop 1 is about collecting experiences. But a great deal of our knowledge of the world cannot be gained from *primary* experience – i.e. direct experience of the external world from doing real experiments. Often the primary experience has to be replaced and provided by a mediated (secondary) one such as a video presentation. Experiences may also be simulated (*artificial*) or re-created (*recalled*) from our memories (Jarvis, Holford and Griffin 2003 p. 65). And some experiences are gained unconscious.

According to Michael Polanyi (1967) *we can know more than we can tell*. He termed this **tacit knowledge**. Knowledge which we routinely use and take for granted, such as the ability to recognise the face of a friend, but is irreducible to explicit propositional knowledge and cannot be articulated. It cannot therefore be taught from theory, although there of course is obvious evidence that it can be learned or acquired by repeated training.

Loop 2: In the second loop, which could be called **reorganisation**, the student *reflects* to generalise this experience, and this input hopefully results in a learning output in form of conceptual *understanding*. This is a rational process, which generates explicit general knowledge. Through this the student obtains a new model of understanding; a new basis for interpreting further inquiries. The difference between experience and understanding can with reference to Aristotle (Metaphysics, 350 BC) be explained as follows: Experience is knowledge of the *particular*; understanding is knowledge of the *universal*.

It is the conscious reflection on the total experience and the small discrepancies that eventually will show up that leads to model refinement or even model replacement. A little frustration is a great motivator for learning.

Active learning

In active learning you add new knowledge and skills to your competence repertoire in the data-collection loop by *learning-in-action* (or learning-by-doing or discovery-by-doing). These mostly tacit competencies – or *knowing-in-action* to use Donald A. Schön's term (Schön 1987) – are very important to engineering and can be very effective for problem solving; but they don't change the explainable models in your head. Your models, which may be incomplete if not directly incorrect, will be enforced as long as you are successful in solving similar problems. Tacit knowledge has long been underestimated in engineering, but a balance with explicit knowledge is necessary for creative design and novel innovation. Much can be learned by Schön's *reflection-in-action*, but activity must be followed by conscious reflection to transform the contextual skills into transferable generic skills (*knowledge-in-action*: You know *how*, and you know *why*).

The double-loop feedback model should not be considered strictly sequential – the feedback in the loops will be continuous. You are likely to stay in the first loop for some time, when appropriate jump to the second loop and then go back to the first loop again. First you try to fit new knowledge into your current understanding, but as new knowledge accumulate, discrepancies may start to show, and you will have to revise your models bringing new understanding. Learning is neither continuous nor linear; *learning jumps* will occur.

The model can be related to the idea of the *hermeneutic circle* (Gadamer 1960): It is not possible to grasp the idea of the whole without knowledge of the details, and you cannot understand the details without an overall view. How you interpret your experiences in the first loop is guided by your knowledge; by your horizon of explanation: You explain what you see on basis of your existing understanding of the world. This idea is also the basis for *spiral learning* (Bruner 1960): You start with insufficient knowledge, wherever you start. You can start from the top, from the bottom or in between; but you have to go up and down repeatedly to improve your understanding until you get it.

Like Thomas Kuhn's (1996) *paradigm* theory tries to explain scientific development, the double-loop feedback is an attempt to model a realistic

conceptual-change learning process suitable for teaching development. In the first loop you are expanding and refining your experience base (coined puzzle solving in normal science by Kuhn). Not until you have tested your existing theory to the limit, where it may no longer work (anomalies), you jump to the second loop and a revision of the model (a paradigm shift or scientific revolution in Kuhn's terminology) happens – normally the changes will be small, but sometime your conceptual understanding will be truly revolutionised. A new theory is seldom or never just an increment to what is already known. Its assimilation requires the reconstruction of prior theory and the re-evaluation of prior facts (Kuhn 1996 p. 7). There is no motivation to adopt a new theory, before you have tested your existing theory to the limit, where it will no longer work. You cannot jump to the second loop without extensive explorations in the first loop. So staying in loop 1 is not waste of time – it is important!

Both loops in this double-loop feedback are essential to active learning – but it is particularly important explicitly to focus on the generalisation of contextual knowledge to transferable knowledge in the second loop. *The most important in active learning is to put sufficient attention to the second loop* – students often miss this loop (reducing the learning process to the *engineering cycle*: Try something; if it doesn't work try something else!). Conscious reflections on 'why' is necessary for learning with understanding.

Relation to experiential learning

The two loops are related to Piaget's ideas on *assimilative* and *accommodative* learning. Assimilative learning corresponds to the data-collection loop and accommodative learning to the reorganisation loop.

There are also many resemblances to *Lewin/Kolb's experiential learning cycle* (Kolb 1984), but there are important differences. The four elements (active experimentation, concrete experience, reflective observation and abstract conceptualisation) in Kolb's cycle are complex activities. In the feedback model presented here with two simple loops, there are clearly two study *inputs* (experiments and reflection) and two learning *outputs* (experience and understanding). It is a much more operational model.

Finally the double-loop feedback model has some ideas in common with Chris Argyris' *single-loop and double-loop learning* for an organisation (Argyris and Schön 1978, Argyris 1992). However, the feedback mechanism in Argyris' model is more directly modelled on control theory: Learning is a function of the mismatch between organisational intentions and actual output. In single-loop learning member behaviour is adjusted to obtain the wanted output – in double-loop learning the organisational structure is adjusted.

In contrast to Argyris' differential model, the learning output in the model described here is analysed on basis of the accumulated knowledge – expected output is not available to the learner in inductive learning. Still, what happens in the loops is comparable: In the first loop new learning is adjusted to fit into existing models of understanding, and in the second loop the new knowledge changes the models.

2. How to teach

For i Sandhed at kunne hjælpe en Anden, maa jeg forstaae mere end han – men dog vel først og fremmest forstaae det, han forstaaer. Naar jeg ikke gjør det, saa hjælper min Mere-Forstaaen ham slet ikke⁹ (Søren Kierkegaard 1848/1859).

The fundamental requirement to teaching is that it must help the student to learn. This may seem trivial, but much teaching actually hinders the desired learning or makes it in one way or another difficult to learn. If the teacher has wrong ideas (or no ideas) about how learning takes place, her teaching methods may give very poor conditions for learning; at best learning may occur accidentally. A distinctive characteristic of professionals is that they retain theoretical knowledge on which to base their activities (Ramsden 2003 p. 11).

Teaching methodology

Historically there are two different ways to educate: To let the student *follow a master* (in-job training) or to place the student in a *classroom*

⁹ To truly help another person, I have to understand more than him – although primarily understand what he understands. If I don't, my more-understanding doesn't help him at all.

with a teacher (frontal teaching). The first way is the oldest. This is the way children always have learned how to behave in society. You learn by copying family and friends. For more requiring tasks you follow a master and learn by observing, what she is doing, and try to do the same while being guided and supervised. This is mostly considered a way to obtain practical skills, but old university teaching was probably close to this: You studied at a master. And master supervision is still an important part of education at the highest level: PhD studies.

When many people had to be given more theoretical knowledge, classroom teaching was invented. In the beginning when the masses had to be educated, the most important thing was to learn the text of the Bible – i.e. learning was equal to memorising, when written material was rare. This is the way children have been thought to read, write and doing simple math. And it may be suited for learning basic knowledge in the sense this is a question of internalising fundamental facts and procedures without too much understanding involved. When more and more people went to the universities, this also became the dominant way of university teaching. But is it also well suited to learn, what is required at a university level?

There is good reason for questioning how deep theoretical understanding is obtained with these two methods - in the worst case they both fail: To do like a master could give non-transferable skills and classroom teaching end up with surface know-ledge. So the question is not so much which method to choose, but more how to use the method chosen.

These two ways of teaching require quite different competences of the teacher. The *master* must firstly and mostly be an expert with respect to the subject. She must know what to do and how to do it. But she is also a tutor, who listens, discusses, and asks and answers questions. The *classroom teacher* needs quite different skills and qualifications. She must be an expert in teaching; an expert in initiating, facilitating and evaluating the learning process in the student. She selects, plans, mediates, and gives and marks assignments.

Both methods have some good qualities, and it is up to the teacher on basis of the actual educational setting to decide which elements to use

in a given situation. But it is very important to be aware of which method you are using and behave accordingly.

From techniques to principles

Asking which teaching technique is best is analogous to asking which tool is best - a hammer, a screwdriver, a knife, or pliers. In teaching as in carpentry, the selection of tools depends on the task at hand and the materials one is working with. Books and lectures can be wonderfully efficient modes of transmitting new information for learning, exciting the imagination, and honing students' critical faculties - but one would choose other kinds of activities to elicit from students their preconceptions and level of understanding, or to help them see the power of using meta-cognitive strategies to monitor their learning. Hands-on experiments can be a powerful way to ground emergent knowledge, but they do not alone evoke the underlying conceptual understandings that aid generalization. There is no universal best teaching practice (Bransford 2000 page 22).

First it was believed that there was *one* optimal way to teach. When this turned out clearly not to be the case, it was suggested that there still was an optimal way to teach to reach a given learning objective; different objectives requires different methods. Even this is probably not true - it has not been possible conclusively to show that one method gives better student learning than other methods; there are far too many other factors that influence the outcome. All that can be said is that there is empirical evidence that some methods do *not* work in certain situations. But if there is no optimal way, what to do then? The answer seems to be that you should have a toolbox with an array of teaching methods that fit your liking and abilities. In a given situation you should then do the following: Discard the methods that are not useful in this situation and then try out a method that you think will work. Test the result; if it works - great! If it doesn't, try to improve it or try something else...

Per Fibæk Laursen (2004) calls this the **principle of non specificity** in teaching. It is not the methods or techniques that are of critically importance for student learning, but the way you use them. You should

- create a positive learning environment for student learning.
- be engaged in the subject, well-structured and in dialogue with your students.
- use a wide repertoire of teaching activities.

This does *not* mean that all teaching methods are good or equally good! And it does certainly not imply that you can teach as you please! There are some basic principles and general requirements that must be met in any teaching. And specific requirements in specific situations. *We are looking for principles, not for techniques* (Ramsden 2003 p. 121).

Teachers are different, and even if it was possible to advise the theoretical perfect teaching method to obtain some learning goals, it may not work with a given teacher in a given situation. Teachers have different strengths and weaknesses. If you are an eminent lecturer, you should of course exploit this – even if this does not directly transfer understanding to the students, it certainly may inspire them to learn by themselves. But if you're not – and only few of us are – you should consider limiting lecturing. You may on the other hand be the born tutor, so planning a teaching based on group work may be a good choice. Alternatively you could be strong in writing course materials, and in that case you and your students might be best off, if you focussed on this aspect of teaching and cooperated with a colleague, who was strong in oral communication. This does not mean that you can and should limit yourself to do, what you are best at; it only means that you should be aware of your strengths and exploit them – i.e. use methods that suit you well when possible. In that way it will be easier for your students to accept your weak points.

Approaches to teaching

A good performance is not necessarily good teaching. (Ramsden 2003 p. 73).

There are two quite different approaches to teaching described respectively as **teacher-centred** focus and **student-centred** focus (Prosser and Trigwell 1999). In the teacher-centred approach the teacher thinks the most important thing about teaching is how the teacher performs –

that by perfecting her performance she can transfer her knowledge to the student. In the student-centred approach the teacher thinks the most important thing is to set up the best conditions for letting the student do the work. Since the student can only really learn by doing the work himself, the teacher should adapt the student-centred focus.

It should be stressed that a student-centred focus does not imply that the teacher is not important. That the student should take responsibility of his own learning does not mean that the teacher has no responsibility – it is only a shift in the way the teacher is responsible. Above all the teacher should still be enthusiastic, in continuous dialogue with her students and deeply engaged in their learning process.

2.2 Basic teaching principles

On bases of how to learn, it is possible to set up some simple rules for teaching. Standard teaching methods will not be described, but general principles that can and should be used no matter which overall teaching methodology you use. It may seem more abstract than basing the discussion on known methods, but actually the approach used here is very operational; the principles are directly to be used. In reality nobody uses standard methods directly – or at least they shouldn't; standard methods never fit the situation unless the situation is build around the method. Methods always have to be modified, and if you don't know the basic principles for teaching your adjustment may at best be suitable by accident – and in the worst case counterproductive.

Transmitting information ➡ Building understanding

That learning is context dependent implies that teaching should move from a generic classroom to a learning environment supporting the learning. The material to be presented must be put in an understandable context and the physical and mental learning environment must support the subject. To create an understandable context to the student could mean to start with an example that makes sense to the student.

Nel Noddings (1998 p. 30) cites John Dewey for stating that to be educative an experience has to be built on or connected to prior experiences.

Therefore, teachers must know something of their students' prior experience and design new learning experiences that grow out of this.

That learning builds on existing knowledge means that you have to establish a *sound starting point* for your teaching activities. You must work with the preexisting understandings that your students bring with them. Students' initial conceptions provide the foundation on which the more formal understanding of the subject matter is built. If the students' initial understanding is not engaged, they may fail to grasp the new concepts that are taught, or they may learn them for purposes of a test but revert to their preconceptions outside the classroom. If students' initial ideas and beliefs are ignored, the understandings that they develop can be very different from what the teacher intends (Bransford 2000 p. 10f).

Even if students' pre-knowledge rarely is completely wrong, it is often partly wrong coming from common sense, which may work fine in daily life, but not necessary in a more professional and scientific context. Since the student needs a correct starting point, you may have to get him to modify his mental model. However, mental models are difficult to change, it might therefore be necessary to confront the student with situations where his wrong preconceptions clearly show to be inadequate.

To build knowledge it is not enough to know your students' starting point; you also have to follow their learning process. If learning does not occur or takes a wrong direction, correcting actions must be taken. So **feedback** through formative evaluation becomes very important both to you and to the student.

Deduction \rightsquigarrow **Induction:** We cannot teach another person directly; we can only facilitate his learning (Carl R. Rogers 1969).

That you cannot transfer understanding, but only induce learning implies that you should move from deductive to inductive teaching.

Most teaching is *deductive* in nature: The teacher explains the general principles and then illustrates these with examples. The teacher tries to

transfer her knowledge to the student. Unfortunately that is not possible; the student has to learn for himself through an active learning process. Pure deductive teaching therefore in most cases is a very ineffective way of teaching.

Pure *inductive* teaching is quite different. Actually it is not appropriate to talk about pure inductive teaching, since no teaching would be involved; you should only talk about pure inductive learning: The student starts without being given any prior information to experiment, and slowly the experiments reveal some common features, which the student generalises to theoretical models of understanding. There is no doubt that this will give a deep understanding, but it is just as clear that this method is unsuitable for giving a student all the relevant competences necessary to perform in the modern world. It simply takes too long time.

In a weaker form inductive teaching should at least include that the student initial should do some form of active experiments, and with help from reading relevant text or guidance by the teacher he tries to obtain some general conclusions from this.

Auditorium ➡ **Laboratory**: Learning for understanding occurs principally through reflective engagement in approachable but challenging understanding performances (Wiske 1998 p. 52).

That you have to work to learn implies that the teaching environment should move from the passive auditorium¹⁰ to a laboratory¹¹. So you should create a learning environment, which physically as well as mentally supports individual and group activity – i.e. the rules and structures for teaching should make room for mental activity by allocating time for independent study, and the physical layout should make room for physical activity by allocating space and facilities for practical work (Christensen 2004).

The *physical learning environment* for engineering education should be a real laboratory. Engineering science is built on theory *and* practice, it

¹⁰ From Latin 'audio': Hear.

¹¹ From Latin 'laborare': Work.

cries for physical activity! For some kind of engineering - e.g. electrical engineering - it is easy to work with authentic constructions, but for others like civil engineering it could be more difficult - full-scale bridges are not easy to build... The kind of possible laboratory therefore depends on the field of engineering. A learning environment for mechanical engineering could very well be designed around a mechanical workshop.

This is one of the basic ideas of the CDIO¹² initiative as well for the ALE¹³ network: To put practice back into engineering education.

Monotonous teaching \Rightarrow Diversified learning activities

To give all students equal opportunities for learning, teaching in general should be varied with elements suitable for the students' different learning styles. Time schedules should be so flexible that they leave room for the teacher to use all kind of teaching activities. It is not possible to meet all students all the time, but if teaching could - maybe by use of information technology - allow the students to use different study strategies, it would be preferable. However, you should never just give the students, what they want without considerations of the learning potential.

When lecturing there should be pauses for thought as well as for activity.

Material should provide concrete information like facts, data, experiments and observable phenomena as well as abstract concepts like principles, theories and mathematical models.

Make extensive use of pictures, sketches, flow charts, plots, graphs, schematics, diagrams, computer graphics, films, and physical demonstrations in addition to oral and written explanations and derivations.

A big picture should be presented before presenting all the steps, doing as much as possible to establish the context and relevance of the subject matter and to relate it to the student's experience - and some details should be presented before the big picture is completed, demonstrating

¹² Conceive - Design - Implement - Operate; for more information see www.cdio.org.

¹³ Active Learning in Engineering Education; an international network to promote better teaching.

the logical flow of individual course topics. In other words: The subject should alternately be approached from the top and from the bottom.

Teacher control ➡ **Student influence:** That the learner has to be engaged to learn can be supported in many ways, but generally motivation increases if the teacher hands over some control over the learning process to the student.

You can have student influence at different levels. At the highest level the students have a saying with respect to what to learn – they should set their own learning goals. This may seem unrealistic, but there are teaching methods like PBL and projects where it is possible, even if the overall goals will be fixed.

A lower level is to give the students influence on the way they learn – decide when to study and how to work: reading, doing group work or performing practical experiments. This is very important considering the different motivation and learning styles they may have.

Textbook drills ➡ **Complex real-world problem solving:** In order to develop the capability to analyse, reduce and solve complex engineering problems, it is necessary to use complex problems during the education. The complexity, i.e. the methodological difficulty of a problem depends primarily of how well the problem is defined (*well-/ill-defined input*) and whether there is a single solution or not (*closed/o-pen output*).

Problem solving is important in engineering education, but certainly not drilling the students in solving textbook problems. Particularly with respect to *creativity* this is disastrous, since solving routine problems with a given solution is killing creativity. The idea that there is always a single best answer to every problem acquires only the skills needed to produce orthodoxy (Cropley 2001 p. 160). So do not use drills or simple closed textbook problems!

A problem can be a (theoretical) textbook problem or a (practical) authentic problem – i.e. a problem like one from real life. But authenticity has two levels. A realistic problem can be a fictive constructed problem or a real problem taken from the real world. In some situations it could

be important that the problem is real; it could increase the motivation. But in many cases it may be easier to focus on the learning goals with a specially designed problem that is planned in such a way that to arrive at a solution, students must make use of the discipline-based subject matter they are learning (Cropley 2001 p. 170).

Curriculum overloading ➡ Core element focus

A common mistake is to include too much content. We should rather strive to include less, but to ensure that students learn that smaller part properly. That the presence of abundant information implies neither knowledge nor wisdom is evident all around us (Ramsden 2003 p. 131).

Having decided “what to *learn*” (the learning objectives), a teacher has to decide “what to *teach*” (the syllabus). And that is not as easy as it may seem. All teachers want their students to know all the relevant information about their subject – but the relevant information in most subjects in engineering is growing and growing.

Teaching should support a deep approach to learning. First of all this requires that the student is allowed the necessary *time* to be absorbed in the subject. The greatest enemy of understanding is coverage (Gardner 1993 p. 24). If you’re determined to cover a lot of things, you are guaranteed that most students will not understand, because they haven’t had time enough to go into things in depth. Superficial coverage of all topics in a subject area must be replaced with in-depth coverage of fewer topics that allows key concepts in that discipline to be understood. This is the *paradox of higher education*: Reduction of the curriculum as a necessary response to scientific growth and specialization.

Curriculum overloading is avoided by identifying the essential core elements in the curriculum. *Learning objectives* are what the student should be able to do, *core elements* are what the student has to learn in order to reach the objectives: The very most important in the curriculum – cut to the bone!

The teacher should use all her effort to focus on the core elements. Martin Wagenschein (1956) calls a corresponding principle for *exemplarity*. You should find one good example, which illustrates all the features you

want your students to understand. And when the student understands this, he can extrapolate to other situations. Newer research on transfer shows, however, that using only one example may bind the knowledge to one context prohibiting efficient transfer (Bransford et al. 2000 p. 56). When knowledge is taught in multiple contexts, people are more likely to extract the relevant features of the concepts and develop a more flexible representation of knowledge that can be used more generally. You should therefore teach a subject matter in depth by providing several examples in which the same concept is at work. This could be called **multi-exemplarity**.

2.3 Planning a teaching sequence

Based on the previous discussions there can be set up some general requirements to the planning of a teaching

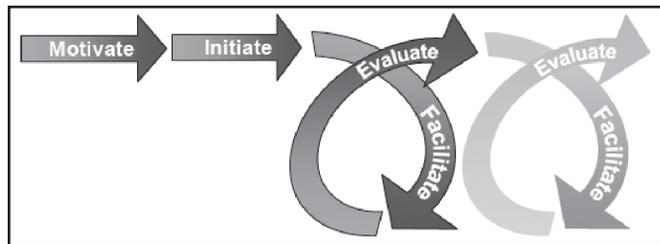


Figure 4: The MIDwiFE planning model

sequence: Teaching should **Motivate**, **Initiate**, **Facilitate** and **Evaluate** the learning. This could be called the **MIDwiFE** teaching method with reference to Socrates' dialectic method: You should be like a midwife helping deliverance of the knowledge – you should not give the answers, you should by dialog talk your student into giving it. The flow of the model is illustrated in figure 4.

Motivating: The students should be truly Motivated to learn – i.e. get interested in the subject (internal motivation). The best way to motivate students is probably by real-life problems that demonstrates the application of the course subject and relates it to consequences for individuals and society.

Initiating: In order to Initiate deep learning you should do the following:

Pre-test: To establish a solid starting point for your students' learning, you must know your students' background – i.e.

- students' expectations and motivation. This information is important; if the students come with different expectations than yours or low motivation, it is not likely that they will learn anything.
- students' initial understanding of topics necessary for following the course with the expected learning outcome. If the students lack the necessary initial understanding, it rises a very difficult problem – unfortunately not that uncommon, but often ignored: What should you as a teacher do, if your students do not have the prerequisites for understanding the course subject? If many students miss the most fundamental understanding, you could give them a brush up – but if only few do, it must be up to themselves to read up on the topics.

Relate to known context: The student should be put in a situation, where he can start his studying on basis of something he already knows, which could be a known theory or something from the student's daily life. Generally you should proceed slowly in the beginning – the students need time to transfer their learning from previous courses to your course context.

Give proper instructions and information: The student should know the learning objectives, the intentions behind the teaching method you will use and what is expected from him, and he should have access to the necessary information. This does not mean deductive lecturing – the student should only be given the information necessary for starting an inductive learning process.

Activate: The student should be activated (start relevant learning activities). Developing confidence in one's ability to learn a subject is essential to success. At the start of a course students should be given a task to perform at which they can succeed quickly (this is one of the reasons why it is so important to inquire into students' understanding before teaching). They should feel they could gain some new knowledge simply by linking it to what they are already confident about (Ramsden 2003 p. 134). But only for a starter; problems should generally be challenging.

Facilitating: The teaching process should be Facilitated - teaching could be comprehended as a process of working cooperatively with learners

to help them change their understanding. Facilitating is making student learning possible - you should help your students:

Get useful input: The student should be exposed to relevant external stimulus and secondary experiences necessary to feed the learning process.

Focus on learning objectives: The learning should be focussed, so the learning objectives are reached. Listing objectives at the first lecture, is not enough to describe to students what we want them to do. Objectives must be continually presented to students in order to provide a clear framework in which they can work.

Engage in continuous active learning: The student should be engaged - learning is not instant, so the student's interest in the subject should be maintained. And the student's study strategy should promote deep learning. With reference to the double-loop feedback model it could be stated in the following way:

Loop 1 - Independent learning by doing: The student should have the necessary time and facilities to study the subject and get some experience with it. Studying alone increases the risk of taking wrong directions or ending at dead ends, so through *group work* learning should be enhanced by discussions with other students. Group work is a great support to the learning process, so it should be used as much as possible; training generic competences like team working, communication and presentation is only an extra bonus. Most of us learn more from one another than from the direct manipulation of objects (Noddings 1998 p. 116).

Loop 2 - Teacher supported generalisation of contextual knowledge into conceptual understanding: 'From teaching to learning' does not mean that the teacher should *not* play an important role in the learning process. The teacher should not take over the generalisation process, but should surely make sure that the student is not only active. The student must be guided in the active learning process to reflect on the learning, so the tacit experience is conceptualised into explicit models of understanding. It is important to go *from activity to active learning*. To ensure conceptualisation the teacher must primarily take on the role of a didactic professional with insight into the learning process, but also a specialist with deep understanding of the

subject matter. And the student should be educated to understand the learning process (Christensen 2000, 2004) – the student should *learn to learn*.

Evaluating: How people's learning is assessed determines to a very large extent what learning they think is important. Assessment is not therefore a 'neutral' technique for measuring the performance of learners (Jarvis, Holford and Griffin 2003 p. 158).

The learning must be Evaluated. This should primarily be through *formative* evaluation – i.e. continuous evaluation without grading. But *summative* evaluation – i.e. activities to grade or fail/pass students (assessment) could (and should) also contribute to this; the roles for assessment must be expanded beyond the traditional concept of control. And finally you could use some kind of *post-test* probing into the students' conceptual understanding of the core elements of the curriculum to see if teaching has had the desired learning output or correcting actions should be taken.

The teaching method should along the process give the student feedback, so he can progress in his learning. And give the teacher feedback on teaching efficiency, the students' studying (their reaction on the teaching) and their difficulties with specific topics, so she can plan an efficient teaching strategy and control that it is working as intended. The use of frequent formative assessment helps make students' thinking visible to themselves and their teacher. This provides feedback that can guide modification and refinement in thinking. This could be done by tests and quizzes or by letting the student give presentations with peer feedback. For more feedback methods see Angelo and Cross (1993).

Sequencing: Order of the topics

The idea that students must lay down a basis of fact and detail on which to build understanding is an aspect of the mythology of teaching theory (Ramsden 2003 p. 131). Students don't build new knowledge on fact and detail but on their general models of understanding.

The logical structure of a subject as described by mature scholars is according to Dewey not pedagogically adequate (Noddings 1998 p. 30).

The traditional instructional approach to first present “fundamentals” (e.g. mathematics in engineering education) and then much later present the applications that make use of the fundamentals gives low motivation, poor learning and negative attitudes toward the subject.

The logical ordering of topics that is ‘observable’ to a subject expert is not necessarily the best way for a novice to go about learning that. Materials should preferably be ordered in such a way that it *proceeds from common sense and everyday experiences to abstractions*.

When a teaching sequence is designed the process should start with considerations of the total learning environment: the topics to be learned (learning objectives), the possibilities of the institutional framework, the students’ background and pre-knowledge and your abilities as a teacher (Christensen 2004). You cannot see teaching in isolation; teaching is very dependent on the surroundings. There must be **constructive alignment** between the elements from which you construct the teaching sequence (Biggs 2003, p. 32). Especially the way the student learning is assessed must be aligned with the learning objectives and the way you teach. Whether we like it or not, the assessment drives the student’s work. So even the best designed teaching fails, if assessment is not suitable. Therefore right from the start in planning a course assessment should be considered. If you want your students to reach specific learning objectives, the assessment must assess these objectives. Students are smart, they figure out how to pass and study accordingly! The assessing part of teaching is very important – also for student learning.

In real learning one goes ‘back to the basics’ time after time; learning subject matter properly involves several passes through the same material. But the journey of exploration should be made different, and more difficult, each time. Bruner introduces the idea of *the spiral curriculum* - 'A curriculum as it develops should revisit its basic ideas repeatedly, building upon them until the student has grasped the full formal apparatus that goes with them' (Bruner 1960 p. 13).

Spiral learning implies that the student work on the same topics several times. Each time more material is added. The student could in principle be working with the same problem each time, but making more and

more advanced solution – i.e. from qualitative to quantitative solution. You could also say that the topic is attacked both from top and bottom from the start – giving more and more overview and more and more details for each winding.

2.4 Examples: Learning for necessity – Just-in-time teaching

Implementation Model A

In a study programme in Arctic Technology at the Technical University of Denmark (Christensen 2008) the following principles for teaching are selected:

- Interdisciplinary case-based courses
- Just-in-time teaching for learning for necessity (or need-based learning as Kurki-Suonio & Hakola (2007) call it).

This led to a teaching structure, which basic element is the ‘composite course’ with an authentic case from the local area. A composite course has a size of 10-15 ECTS points – i.e. $\frac{1}{2}$ of a semester load, and no courses are given in parallel. Interdisciplinary teacher-teams are formed for each course.

In the beginning of a composite course the case is explained, the students visit a construction site, a community facility, a municipal administration or interview relevant citizens, and the problem they must solve is outlined. The students then form groups and start to analyse and solve the problem. They soon run into problems they don’t know how to handle (learning for necessity), and then a specialist teacher is called in to teach them for a week or two (just-in-time teaching). This intensive teaching and tutoring are repeated as many times as there are different subjects in the interdisciplinary course (normally 2-4 times). During the course the students prepare material for the final report, which they present in the end and on which they are graded.

As a specific example the courses ‘Home & House I: Need & Function’ and ‘Home & House II: Engineering Design’ will be described.

In ‘Need & Function’ the students first interview people to get an idea of how they would like to have their home. Then the students get some

input on how houses are constructed and study local regulation and building norms. They are introduced to sketching and how to use a CAD system. This course ends with a preliminary layout of the house including detailed drawings.

In 'Engineering Design' the students transfer their ideas into a real building design – i.e. they calculate the dimensions of the structural part of the house and the foundation, they learn about building materials and they estimate the energy requirement. In the end the students make a final proposal for construction of the house.

In a traditional civil engineer programme the students first learn all the different techniques and then only later put it all to work together. For many students static mechanics is difficult and abstract; they are doing calculations on hypothetical structures of triangles without any connection to the real world. With the method outlined here, the students may not be able to do all the complicated calculations in the beginning, but they know what they are doing and why they are doing it, and that the forces they apply come from the weight of the building materials, wind and snow. This is very motivating and engaging.

Implementation Model B

A basic course in digital electronics is build around a single case (Christensen 1999). The course runs over the two first semesters with two lessons a week and a total load of $7\frac{1}{2}$ ECTS points corresponding to $1\frac{1}{4}$ semester. Students work in small groups of two or three students.

The case will cover all the core elements in the curriculum and shall be known and interesting to the students (to Motivate). The case is divided into sub-problems, so each week has one problem to deal with. It should not be possible to solve the problem of the week without reading the related theory (learning for necessity). The case and the assignments are described in handouts and the theory in a standard textbook on digital design.

Activities each week:

1. Short introduction lectures: Mostly concerning the weekly assignment and could include an illustrative example, introduction to new tools, overview over the sub-problem, the assignment and construction (to Initiate).
2. Group work in class: Start solving the assignment (to Facilitate - loop 1)

3. “After lectures” on demand (*just-in-time teaching*): On necessary theory and generalisation of their experiences (to Facilitate - loop 2)
4. Individual work after class: Reading theory
5. Group work after class: Finish solving the assignment
6. Students hand in the assignment (design and constructions), and the teacher gives written and oral feedback to the groups (to Evaluate). If the assignment is not solved appropriate the group will have to correct it until satisfactory.

Assessment: Portfolio

- a. Groups are graded on basis of the weekly answers
- b. Individual grades are based on oral presentations at the end of the semester.

As case the design of a control for a washing machine is used.

Weekly assignments:

1. Analysis
2. Functional description
3. Set up system specifications
4. Model system – introduction to CAE 1
5. Break into subsystems – introduction to CAE 2
6. Actuator control
7. Design subsystem 1
8. Simulate subsystem 1
9. Build subsystem 1 – introduction to wire wrap
10. Design subsystem 2 – test subsystem 1
11. Simulate subsystem 2
12. Program PLD – introduction to PLD
13. Build subsystem 2
14. Design subsystem 3 – test subsystem 2
15. Simulate subsystem 3
16. Build subsystem 3 – introduction to PCB
17. Design subsystem 4 – test subsystem 3
18. Simulate subsystem 4
19. Build subsystem 4
20. Integrate subsystems – test subsystem 4
21. Simulate system

22. Set up test specifications – connect subsystems
23. Test system
24. Document system

3. References

- Angelo, T.A. and Cross, K.P. (1993): *Classroom Assessment Techniques: A Handbook for College Teachers*.
- Argyris, C. (1992): *On Organizational Learning*, Blackwell.
- Argyris, C. and Schön, D. (1978): *Organizational learning: A theory of action perspective*, Addison Wesley.
- Biggs, J.B. (2003): *Teaching for Quality Learning at University*, 2nd Edition, The Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Bransford, J.D. et al., eds. (2000): *How people learn – Brain, Mind, Experience, and School*, Expanded Edition, National Academy Press - available on-line at <http://books.nap.edu/catalog/9853.html> (accessed July 2008).
- Bruner, J. (1960): *The Process of Education*, Harvard University Press.
- Christensen, H.P. (1999): *Digitalteknik – Danmarks Tekniske Universitet Sydsjælland*. In Jacobsen, A. & Meleschko, A eds.: Når det nu kan gøres mere spændende, CDM's skriftserie nr. 4, DTU, pages 15-19.
- Christensen, H.P. (2000): *What students should know to become good learners*, 4th Baltic Region Seminar on Engineering Education, Copenhagen. Seminar Proceedings, pages 27-30.
- Christensen, H.P. (2004): *Creating a learning environment for engineering education*. In Kolmos et al., eds.: Faculty development in Nordic engineering education, Aalborg University Press & IPN, pages 49-65.
- Christensen, H.P. (2008): *Interdisciplinary just-in-time teaching*, Proceeding of the 8th international ALE workshop, Bogota, pages 309-314 .
- Cropley, A.J. (2001): *Creativity in education & learning - a guide for teachers and educators*, Kogan Page.
- Gadamer, H.-G. (1960): *Wahrheit und Methode*, Part II: *Grundzüge einer Theorie der Hermeneutischen Erfahrung*.
- Gardner, H.W. (1993): *Education for understanding*, The American School Board Journal, July: 20-4.

- Jarvis, P., Holford, J. and Griffin, C. (2003): *The theory & practice of Learning*, 2nd Edition, Kogan Page.
- Kierkegaard, S. (1848/1859): *Synspunktet for min Forfatter-Virksomhed*
- Kolb, D.A. (1984): *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, Prentice-Hall.
- Kuhn, T.S. (1996): *The Structure of Scientific Revolutions*, 3rd Edition, The University of Chicago Press (1st Edition 1962).
- Kurki-Suonio, T. & Hakola, A. (2007): Coherent teaching and need-based learning in science: an approach to teach engineering students in basic physics courses. *European Journal of Engineering Education*, [http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713415994~db=all~tab=issueslist~branches=32 - v3232](http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713415994~db=all~tab=issueslist~branches=32-v3232), 367 - 374.
- Laursen, P. Fibæk (2004): Internal seminar at LearningLab DTU.
- Noddings, N. (1998): *Philosophy of Education*, Westview Press.
- Polanyi, M. (1967): *The Tacit Dimension*, Anchor Books.
- Prosser, M. and Trigwell, K. (1999): *Understanding Learning and Teaching - The experience in Higher Education*, The society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Ramsden, P. (2003): *Learning to Teach in Higher Education*, 2nd Edition, RoutledgeFalmer.
- Rogers, C.R. (1969): Freedom to Learn (3rd Edition (1993): Rogers, C. and Freiberg, H. J.: *Freedom to Learn*, Merrill).
- Schön, D.A. (1987): *Educating the Reflective Practitioner*, Jossey-Bass.
- Schein, E.H. (1969): *The Mechanisms of Change*. In Bennis et al.: *The Planning of Change*, Holt, Rhinehart & Winston, pages 98-107.
- Wagenschein, M. (1956): *Zum Begriff des Exemplarischen Lehrens*, Beltz
- Wiske, M.S. ed. (1998): *Teaching for Understanding - Linking Research with Practice*, Jossey-Bass.

Aprendizaje basado en problemas en ingeniería

Por: Erik de Graaff, Delft, Holanda

1. Introduction

All over the world Problem-based Learning (PBL) is recognized as a successful innovative educational method (Boud & Feletti, 1991; Savin-Baden, 2000). The number of institutes in higher education starting to implement PBL in their curricula keeps increasing (De Graaff & Kolmos, 2007). As each school adds their own interpretation of PBL, more and more varieties come into being. Problem-Based Learning (PBL) is used an “umbrella concept”, more or less similar to Active Learning. However, the background of the theoretical concepts is different. The label PBL is applied referring to a variety of educational methods, ranging from frontal classroom teaching, with the teacher discussing problems to self-directed small group work on projects. Discussing these varieties is not about trying to define the “true” PBL. It is necessary in order to understand what are the key characteristics that make PBL work.

This chapter will first present a brief overview on the origins of PBL focussing on the application of this didactic model in higher engineering education. Next a process model will be introduced to describe different varieties and some examples of PBL and Project organised learning will be outlined. The chapter concludes with some suggestions to take into consideration with the implementation of PBL.

2. The roots of PBL

Don Woods is the person credited with first coining the term “Problem Based Learning” within the context of higher education (Westrik, & De Graaff, 1994). During the sixties of the last century Woods was a professor in Chemistry in McMaster University in Canada. He felt the learning results lectures were less than optimal. He noted that his students were unable to concentrate for the duration of a full lecture

and he started to experiment with alternative methods to capture their attention. One source of inspiration was the work of Willam Killpatrick. Early in the last century this American pedagogue recognised that learning-by-doing, working with authentic problems from practice results in a strong motivation for learning (Broudy & Palmer, 1965). Other examples of pedagogical approaches contributing to PBL are the Harvard method of Case based learning, the work of Maria Montessori, Jérôme Brunner's principle of learning-by-discovery and the concept of student centred learning from Carl Rogers (Rogers, 1961). Combining elements of these various methods Woods outlined the basic principles of PBL. In stead of starting with an explanation in a lecture students were to observe a phenomenon in a chemistry experiment. Next they were asked to discuss what they had seen in a small group, trying to explain their observations (Woods, 1994).

The PBL method was first introduced on a large scale at the end of the sixties with the development of a new medical curriculum at McMaster University. The development team started out with a holistic vision on mankind and society. In relation to the field of medicine this meant they felt the process of specializing in medicine had gone too far. They proposed the development of a curriculum aiming for general practitioners working in primary care facilities. PBL was selected as educational method for the new curriculum because it matched the holistic vision on mankind and the medical profession (see the McMaster Educational philosophy, Neufield & Barrows, 1974).

Rather than being split up in specialist disciplines, the PBL-curriculum has a thematic structure. Students work together in small groups, integrating knowledge and skills through discussing problems from professional practice. The McMaster medical curriculum turned out to be successful and the method was further refined (Barrows & Tamblyn, 1980). In particular in medicine and heath sciences numerous other schools followed the example of McMaster. Notably among the first schools to implement PBL as the principal educational method are Maastricht in the Netherlands and New Castle in Australia (Bouhuijs, Schmidt & Van Berkel, 1993) In each case the PBL method was further developed and transferred to other study areas, including engineering (Chen, Cowdroy, Kingsland & Ostwald , 1994).

Besides the PBL varieties branching of from the McMaster medical origin there has been a parallel development of PBL approaches in engineering education, roughly in the same period of time. In Scandinavia and Germany a PBL tradition emerged, building on the concept of experiential learning formulated by John Dewey, along with the development of political engagement in the seventies (De Graaff & Kolmos, 2003). An example of the socialist ideals of project learning is that the efforts of students should benefit society. The movement resulted in innovative curricula in engineering in Germany and in Denmark in Roskilde and Aalborg. At first these educational model were idealistic in nature and very much practice oriented with respect to their components. However, during the nineties people at various institutes started to search for theoretical foundations of the educational models. As a result of this development Aalborg merged with the McMaster-Maastricht PBL branch, adopting the label Problem-based Project Organized For its curriculum.

3. A process model to describe dimensions of PBL

Traditional engineering courses consist for a large part of frontal classroom teaching next to some practice exercises. The objective of the frontal teaching is to transfer basic knowledge needed to be able to practice engineering. The learning goals are centrally decided and the teacher is in charge of directing the learning process in the classroom.

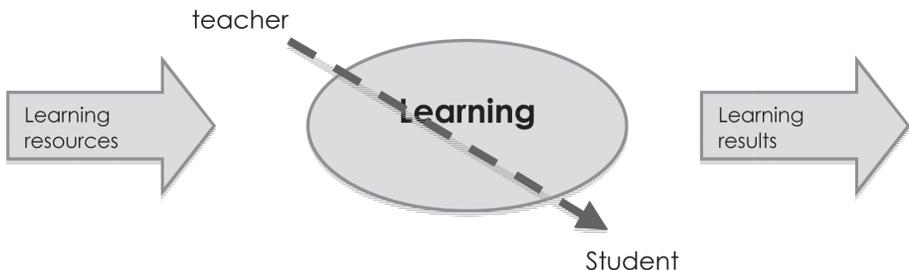


Figure 1: Directions of learning process

The master-apprentice model of learning on the job is probably the oldest educational method in the world. The apprentice has the opportunity

to pick up the tricks of the trade following the example of the master and gradually becomes a master himself. The system is straightforward and self-sustaining. Both parties profit: the master has the advantage cheap labour, and the apprentice acquires skills.

However, learning on the job also has drawbacks. Instead of just waiting for learning opportunities to come along, the master can play a more active role. Based on experience and expertise, the master can present relevant knowledge to the students. Eventually this transcends into the model of 'frontal classroom teaching'. The two basic models, learning by doing and frontal classroom teaching can be seen as opposing ends with many possible positions in between.

The educational process can be described by means of an analogy with a production process using the *input - throughput - output* model. Of course, this does not mean that students are regarded as raw material to be processed in a factory. The analogy just serves to understand different aspects of the learning process. Observing the *input - throughput - output* model, we can determine several dimensions regarding factors or conditions that influence learning:

Input

The first dimension has to do with the kind of stimulus you give to the students. It varies from discipline knowledge as available in textbooks to problems from professional practice, like how to create a reliable river crossing, or a new optical tool.

Situation

The second dimension displays different possibilities in the environment, ranging from the well-organized classroom to the real workshop.

Qualification of the teachers

The third dimension has to do with the qualifications of the teachers. Do you need primarily teachers with thorough didactic training, or do you cherish professional experience?

Orientation

The fourth dimension refers to the orientation of the educational process. It ranges from teacher-centred (the teacher is the focal point), to student-centred (independent, self-directed learning)

Output

The fifth dimension has to do with the sort of result that is most valued. Is there a concrete product that can be shown to the world, or is there just the invisible gain of knowledge or skills?

Inserting the five dimensions in the input - throughput - output model results in a descriptive model that can be used to characterize educational methods. Input has to do with the question of discipline knowledge versus problems as trigger for learning. The situation, the qualification of the teachers and the orientation are aspects of the educational process and the sort of outcomes you aim for, all have to do with the output (see figure 2).

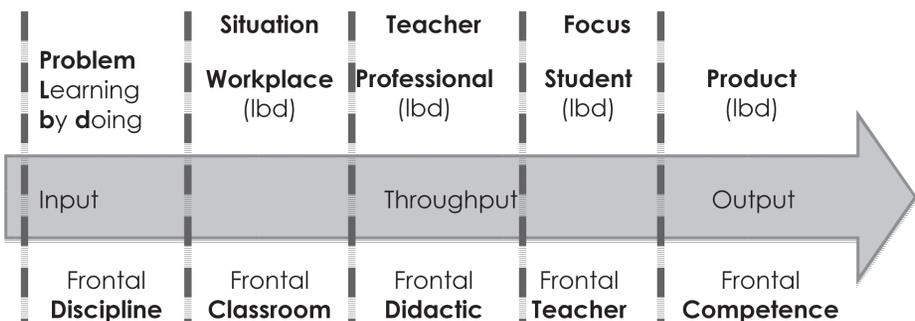


Figure 2: Dimensions of educational process

4. Using the dimensions to differentiate curriculum-models

Inserting the profiles of project teaching and frontal teaching into the dimensions of the process model of education, reveals the first consistently at the top end and the latter at the lower end of each

dimension. With respect to a specific curriculum we can ask ourselves the question to what is the actual position on each of the dimensions and what do we consider to be the ideal position for this curriculum.

The first dimension focuses on the input: Are the students (to be) confronted with problems from practice or rather with explanations by a teacher and with pre-structured exercises? The answer to the first question affects the positions on the subsequent dimensions. In a PBL dominated curriculum all choices will tend to the upper part of the scheme and in a traditional curriculum to the lower part. However, in each situation each decision can be made independently. Examples of completely problem-based curricula are among others: medicine in Medicine, health sciences, law and economics in Maastricht, Holland, medicine and architecture in Newcastle, Australia.

The second dimension deals with the location where the learning takes place. A traditional classroom is fitted out for teaching and easy to manage for the teacher. Vice versa, students who are put in a traditional classroom tend to expect frontal teaching. Learning in the workplace has the advantage to facilitate the transfer on knowledge to application in practice. There is evidence from cognitive psychology studies that people remember more if the learning takes place in the same location as the test (Godden & Baddeley, 1980).

The third decision that has to be made concerns the qualification of the teachers. Evidently, a teacher in a traditional curriculum needs a qualification as an expert in his discipline, next to didactic skills, as his profession is teaching. However, there is evidence suggesting that the students rate the didactic skills as most important of these two skills (Claessens et al, 1997). The example from the medical curriculum in Maastricht, where non expert tutors act as facilitators of the learning process also demonstrates the precedence of didactic skills over professional expertise in a full-scale PBL curriculum.

The fourth dimension refers to the orientation of the educational process. In the traditional frontal teaching model, the teacher with his expertise is the natural focal point. However, there is no reason why a teacher working with cases could not be just as directing. The decisive point

should be what is the most effective in a particular situation. Teachers directing the learning process may gain time in going through the learning materials. But they tend to lose quite a lot of students who cannot keep up the pace. An important aspect of the shift from teacher centred to student centred learning is that students in a classroom are expected to work individually. By contrast, student-centred learning involves collaboration in small groups.

Finally, a decision will have to be made on the measurement of the outcomes of the learning process. The objectives of an engineering curriculum can be described in terms of students gain in competence. PBL can be an effective method to reach those objectives. Working on a project, however, may also result in a concrete product, like a design, or a paper.

5. Examples of PBL and Project Organised Learning

Full scale PBL models share a number of common characteristics to be detailed below (De Graaff & Kolmos, 2003):

1: Curriculum structure

The curriculum is divided into fixed periods consisting of thematic blocks. Each period cases are presented, on which the students are to analyse in order to define their own learning goals (Schmidt, 1983). The cases help to integrate knowledge of subject disciplines. For example, within the field of medicine, the starting point is often a patient case. Students analyse the case in order to find the limits of their collective knowledge. The method of the "Seven Step Procedure" aims to help students analyse the problems from practice.

Stages of the Seven step Procedure:

- 1: clarify the concepts
2. define the problem
3. analyse the problem

See Appendix I for an example of a PBL Case, aiming at understanding Socio-psychological aspects of engineering practice.

2: Learning process

The learning process is organised in self-directed study groups. A typical study group consisting of 8-12 students meets 1-2 times a week. In the study group, each individual student presents his/her work, which is discussed, and the group discusses who should continue with what tasks. Often students organise their work in such a way that their individual work supplements one another and together they develop a broader perspective of the related themes (Barrows, 1984). In a full scale PBL curriculum the role of the teacher who attends the meetings is primarily to facilitate the learning process, in other words, to facilitate the group's work and internal communication.

3: Assessment

Assessment methods should be aligned with the objectives of the learning process. In a PBL curriculum this means testing for competence rather than for isolated factual knowledge. Changing the didactic model without altering the method of testing learning outcomes does not work.

4: Project work

In figuring out, how to reach the project goal, the members of a team have to learn to co-operate effectively. It creates good conditions for learning, as it involves both individual and co-operative activities, interactive discussions and writing a report. Project assignments can be highly challenging. The more authentic the task is, the more students experience it as motivating.

6. Types of projects

The selection of the content and type of projects depends on the learning goals that are to be achieved. Some considerations relate to the learning process, where the students' motivation is dependent on the degree of participant influence –the more decisions the students are allowed to make themselves, the greater is their motivation. The degree of teacher centred planning and direction of the student's learning activities in

relation to the formulated objective varies on a sliding scale. Three fundamental types of project work can be distinguished: the task project; the discipline project, and the problem project.

The Task project is characterised by a high degree of planning and direction on the part of the teacher (teaching objectives) to where this closest resembles a large task to be solved. Both the problem and the subject-oriented methods are chosen in advance, so that for the student, the primary concern is to complete the project according to the guidelines provided. Sometimes the framework is so narrow that the students do not have the opportunity to enter into a process of searching answers on their own.

The Discipline project is usually characterised by a rather high degree of direction from the teacher's side (study programme requirements). Student groups may have a vote in identifying and defining the problem, within the guidelines of the subject disciplines outlined in the theme guidelines.

The Problem project is a full scale project, for which the course of action is not planned ahead in detail by the teachers. The problem formulation directs the choice of disciplines and subject area methods and the problem formulation arises from the problem-oriented theme. In other words, for example from the same work environment theme, the group can actually work with widely different disciplines and subject methods.

7. Considerations at the implementation of PBL in Engineering

There are some strong arguments to implement PBL in engineering schools. By comparison with traditional engineering curricula the PBL models appear to inspire a higher degree of involvement in study activities and consequently a higher level of complex comprehension (Yew & Schmidt, 2008). Also students in a PBL curriculum are trained in (intercultural) communication and collaboration in small groups, which is a demand from industry and they become life-long learners, taking responsibility for their own learning process, which is a necessity for a career in the modern world.

McMaster, Maastricht, Aalborg, Roskilde, Linköping, and Newcastle were all young universities starting PBL with a blank slate. Educators at these institutes were able to develop an entire curriculum without the burden of traditions and habits. The change process from traditional teaching and learning systems to one or another variety of PBL is much more complicated. The three points below represent key considerations for the change process:

1. First of all you can not just copy a curriculum plan from somewhere else. The challenge for each institution embracing PBL is to develop their own special mixture in applying PBL-principles. That means a strategy for change needs to be defined.
2. The change process will never completely evolve according to a pre-designed plan. There must be an identifiable change agent who has the trust of the staff and who recognizes their problems and questions.
3. For traditionally trained staff members the transfer to PBL will create a lot of unrest and possibly loss of job satisfaction. Active involvement of the staff is essential for a successful change process. To engage the staff, sufficient time, energy and resources need to be invested.

8. References

- Barrows, H.S. & Tamblyn, R.M. (1980) *Problem-based learning, an approach to medical education* (New York: Springer).
- Boud, D. & Feletti, G. (Eds.) (1991) *The Challenge of Problem-based Learning* (London: Kogan Page).
- Bouhuijs P.A.J., SchmidT, H.J. & van BerkeL, H.J.M. (Eds.) (1993) *Problem-based learning as an educational strategy* (Maastricht: Network publications).
- Bouhuijs, P.A.J. & De Graaff, E. (1993) *The introduction of problem-based learning at the Faculty of Building Sciences*. In: De Graaf, E. & Bouhuijs, P.A.J. (Eds.), *Implementation of Problem-Based Learning in Higher Education* (Amsterdam: Thesis Publishers).
- Broudy, H.S & Palmer, J.R. (1965) *Exemplars of teaching method*. Chicago: Rand McNally & Company.
- Chen, C., Cowdroy R., Kingsland A. and Ostwald, M. (Editors) *Reflections on problem-based learning*. APBLN, Problarc, University of Western Sydney, Sydney (1994).

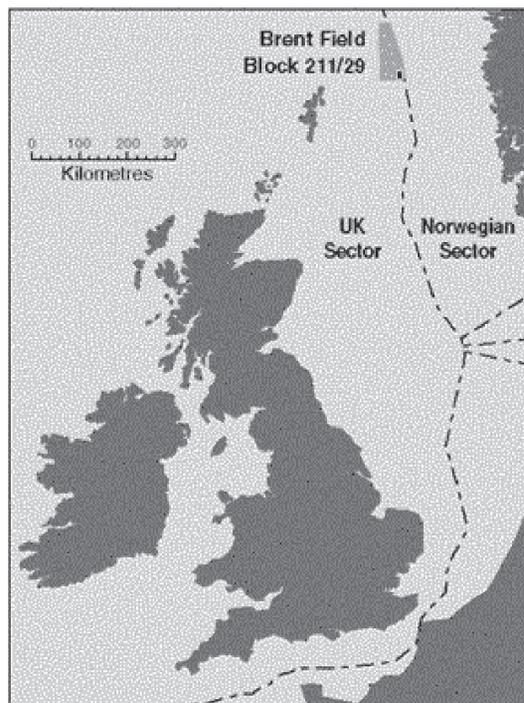
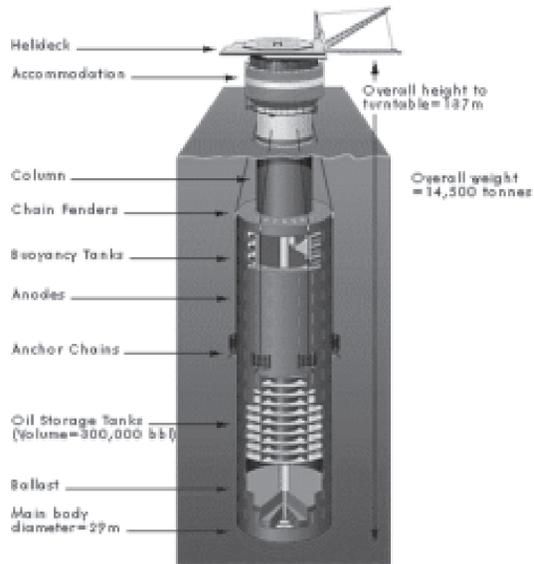
- Claessens, M.P.J.G., Graaff, E. de & Jochems W.M.G. (1997). Using the student questionnaire in implementing PBL-programme. *Zeitschrift fur Hochschuldidaktik* 21-1/1997, p. 180-194.
- Godden, D., & Baddeley, A. D. (1980) When does context influence recognition memory? *British Journal of Psychology*, 71, 99-104.
- Graaff, Erik de (2002) What makes Problem-based learning effective? Keynote presentation at the ALE symposium in Copenhagen June3-7 2002.
- Graaff, Erik de & Kolmos, Anette (2003) Characteristics of problem-based learning. *International Journal of Engineering Education*. 19, 5, p. 657-662.
- Graaff, Erik de & Kolmos, Anette (2007). *Management of Change; Implementation of Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering*. Rotterdam / Taipei: Sense Publishers. 221p.
- Neufeld, V.R. & Barrows H.S. (1974) The 'McMaster philosophy': an approach to medical education, *Journal of Medical Education*, 49, pp. 1040-1050.
- Rogers, Carl R. (1961) *On becoming a person*. Boston: Houghton Mifflin Comp.
- Savin-Baden, M. (2000) *Problem-based Learning in Higher Education: Untold Stories* (Buckingham, Open University Press/SRHE).
- Schmidt, H.G. (1983) Problem-based learning: rationale and description, *Medical Education*, 17, pp. 11-16.
- Westrik, J. & De Graaff, E. (1994) Development and management of the new PBL-based curriculum in Architecture, Key note lecture presented at the conference Reflection and Consolidation Newcastle, Australia, 3-6 july 1994, In: Chen, S.E., Cowdroy, R.M., Kingsland, A.J. & Ostwald, M.J. (Eds.) *Reflections on Problem-based Learning*, Sydney: Australian Problem Based Learning Network.
- Woods, D. (1994) *How to gain most from problem based learning*, Hamilton, Ontario: McMaster University.
- Yew, Elaine H. J. & Henk G. Schmidt (2008) Evidence for constructive, self-regulatory, and collaborative processes in problem-based learning *Advances in Health Science Education Theory Practice*, 2008 [Feb 28 Epub ahead of print].

9. Appendix: Case the Brent Spar

In the early nineties a large offshore storage facility, known as the Brent Spar had become obsolete. The engineers of Shell carefully considered a range of options for disposal. Balancing safety, environment and cost factors, it was concluded that the best practicable method of disposal was to sink the Brent Spar in the deep of the ocean.

The Shell engineers, however, made a serious miscalculation. As became obvious when Green Peace raised the environmental issue in the press, the public is not easily convinced by technical arguments.

In the end Shell had to settle for dismantling the Brent Spar on shore in Norway, an option that had been set aside previously as being too complex, dangerous and expensive and that would give no environmental benefit compared with deep-water disposal.



Aprendizaje en ingeniería basado en proyectos, algunos casos

Por: Mark Steiner, ARPI, EEUU; Catalina Ramírez, José Tiberio Hernández, Jaime Plazas, Universidad de los Andes, Colombia

Introducción

A continuación presentamos cuatro casos donde se desarrollan ejemplos de aprendizaje en Ingeniería basados en el desarrollo de Proyectos multidisciplinarios (tres de la Universidad de los Andes en Bogotá-Colombia y uno de la Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) en Troy – Estados Unidos). Presentamos los casos basándonos en la metodología CDIO que hemos venido describiendo. Vale la pena anotar que los casos pueden que se basen en algunas o todas las fases de CDIO, pero quisimos presentar cada caso como un ejemplo concreto de lo que un estudiante de ingeniería debiera hacer: concebir, diseñar, implementar y operar una idea creativa.

1. Un marco de investigación CDIO (concebir-diseñar-implementar-operar)- C. Ramírez

La constante preocupación por mejorar la calidad y pertinencia, y de actualizar los programas de ingeniería a la realidad del siglo XXI, ha permitido que se hayan diseñado y puesto en marcha programas de innovación educativa en ingeniería. Es el caso particular de CDIO¹⁴ (Conceive, Design, Implement and Operate). La iniciativa fue propuesta por profesores de ingeniería de 4 universidades en 2 países y se ha extendido a más de 22 universidades en 12 países de varios de los continentes (Gunnarsson, S, 2007). Esta iniciativa responde a una forma integral y pragmática en que los programas de ingeniería se reestructuran en aras de responder a los cambios actuales y a los retos futuros. En principio fue concebida para los programas de ingeniería mecánica, vehicular y electrónica; actualmente sus prácticas se han extendido a

¹⁴ CDIO <http://cdio.org> recuperado 15 de febrero 2008

los programas de ingeniería química, ciencias de materiales y bioingeniería. Con esta iniciativa se establecen estándares, que alineados con la ABET¹⁵, permiten guiar el desempeño en la educación de la ingeniería moderna y los requerimientos mínimos para que el estudiante de ingeniería desarrolle habilidades para enfrentarse con éxito a los nuevos retos de la sociedad. Algunas de las universidades que han realizado importantes contribuciones al respecto son CU de Boulder¹⁶, MIT¹⁷, Chalmers, Caltech, Universidad de Maryland en College Park¹⁸, Universidad de Massachussets en Amherst¹⁹ y la Universidad de Pittsburg²⁰, entre otras.

Se puede decir que son 5 las motivaciones que impulsan iniciativas como la CDIO (Gunnarsson, S, 2007):

- avances científicos y tecnológicos,
- la internalización (la movilidad de los estudiantes y la flexibilidad),
- la necesidad de desarrollar ciertas habilidades y actitudes en los estudiantes de ingeniería,
- las cuestiones de género y
- la necesidad de ampliar la participación gubernamental y las iniciativas políticas.

A continuación se realiza un análisis de 3 de estas tres motivaciones que han sido consideradas para el desarrollo metodológico del espacio de formación de mitad de carrera en la facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes en Colombia.

1.1 Avances científicos y tecnológicos

La cercanía entre la industria y los programas de ingeniería son fundamentales para el desarrollo científico y tecnológico de un país. Mientras que para muchos países desarrollados la manufactura y producción se han centralizado en países menos ricos, para países en vía de

¹⁵ ABET <http://www.abet.org> recuperado 15 de febrero 2008.

¹⁶ http://www.cdio.org/cdio_partners.html recuperado 28 julio 2008.

¹⁷ Ídem.

¹⁸ Ídem.

¹⁹ Ídem.

²⁰ Ídem.

desarrollo como Colombia la producción y desarrollo tecnológico se ha centrado en la copia de los avances de otros países. La iniciativa CDIO ofrece la posibilidad de enfrentar a los estudiantes al aprendizaje en términos pragmáticos cercanos al contexto social donde la ingeniería puede agregar valor.

1.2 La internalización

Los efectos de la globalización obligan a que el ingeniero tenga la capacidad de adaptarse muy rápidamente a contextos diferentes a los propios. En Europa, por ejemplo, los programas de intercambio de los estudiantes (Erasmus y Socrates) buscan que los próximos profesionales tengan la capacidad de adaptación a diferentes contextos. Algo similar ocurre en USA y Canadá que reciben estudiantes de China y de India. En Colombia, según la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi), los ingenieros están siendo atraídos por otros países en vía de desarrollo²¹. La flexibilidad que puedan ofrecer los programas CDIO es clave para que la adaptación de los futuros ingenieros sea un motor de cambio y desarrollo en diversas industrias y en diferentes contextos culturales.

1.3 El desarrollo de habilidades y actitudes en los estudiantes de ingeniería

El nivel de comprensión y aplicación de las ciencias básicas a los proyectos que desarrollan los estudiantes de ingeniería son algunas de las preocupaciones de las facultades a las cuales ellos pertenecen (Gunnarsson, S, 2007). Es necesario generar procesos curriculares donde exista una integración entre estas ciencias básicas y los conocimientos de ingeniería aplicados al desarrollo de proyectos reales. Por supuesto que esto requiere de los esfuerzos mancomunados de todos los niveles escolares (colegio²², pregrado y posgrado). En esa medida la iniciativa CDIO promueve el desarrollo de actividades denominadas “hands-on” que permitan la integración y utilización de las bases científicas de la

²¹ Artículo Tomado de la página www.portafolio.com.co el pasado 11 de Febrero de 2008.

²² Ver las iniciativas STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) para escuela básica y media en EEUU y Europa.

ingeniería en proyectos que generen valor a la sociedad actual. Por supuesto que se pretende que estas habilidades refuercen todo el proceso de aprendizaje del estudiante, para que aprenda a aprender.

2. Concebir – Aprendizaje basado en proyectos : El caso de ExpoAndes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes (C. Ramírez)

ExpoAndes es el nombre con el cual se conoce el proyecto de comienzo de carrera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, el cual contempla la realización de proyectos de ingeniería que involucra los estudiantes de primer semestre, quienes para su realización conforman grupos de trabajo colaborativo y emprenden una labor de investigación para la identificación de problemáticas particulares y posibles soluciones de ingeniería (Gómez, Arias, Gómez, Valderrama, Ramírez, 2003). Es la primera oportunidad que tienen los estudiantes de concebir en equipo proyectos que serán presentados durante el día final del semestre a padres de familia, ingenieros, empresarios, profesores y personas del sector público del país. Durante todo un día se presentan alrededor de 150 proyectos a aproximadamente de 2000 personas visitantes que tienen la oportunidad de interactuar con los estudiantes de las ingenierías que ofrece la Facultad (general, industrial, sistemas y computación, eléctrica y electrónica, civil y ambiental, química).

Los estudiantes de primer semestre de ingeniería conforman equipos de trabajo de no más de 5 estudiantes de su propia carrera. Orientados por los profesores y estudiantes de semestres superiores, conciben una propuesta que desarrollan durante el semestre. Esta propuesta consiste en definir un prototipo de proyecto asociado directamente con su ingeniería. Somos conscientes que aún no tienen todas las herramientas de diseño necesarias. Sin embargo, en ExpoAndes exploran



todas las posibilidades que tiene su carrera para diseñar una propuesta de ingeniería. Durante todo el semestre los estudiantes enriquecen la concepción de su idea, hacen presentaciones escritas y orales a sus profesores, realizan una amplia búsqueda bibliográfica, indagan con ingenieros expertos, entre otras actividades. Al final del semestre presentan públicamente sus proyectos. Esta fase es fundamental porque no sólo enriquecen sus propias ideas al respecto de la carrera, sino que por medio de un proyecto que van realizando durante el semestre desarrollan habilidades y competencias que fortalecerán su proceso de aprendizaje futuro.

Con ExpoAndes se ha buscado desarrollar competencias iniciales alineadas con las características del ingeniero que busca formar la Facultad, es decir:

“Ingenieros capaces de identificar y analizar los problemas de su tiempo, de interpretar necesidades sociales, y responder a ellos con soluciones basadas en comprensión de las ciencias, las matemáticas, la tecnología y la ingeniería. Ingenieros quienes pueden convertirse en líderes y guías de su sociedad en lo relacionado con identificar, apropiarse, usar y generar tecnologías que puedan contribuir a su desarrollo sustentable. Ingenieros que puedan asumir un rol de liderazgo en la creación e impulsar empresas de base tecnológica cuyas contribuciones apoyen la creación de riqueza.” (Hernández; Caicedo; Duque; Gómez).

Basados en lo anterior, se han definido las competencias que se esperaba que los estudiantes desarrollaran mientras conciben su proyecto de primer semestre: Proceso de Aprendizaje Autónomo, Trabajo en Equipo, Innovación, Enfoque desde la Ingeniería, Emprendimiento y Motivación. A continuación se describen estas categorías:

- *Proceso de Aprendizaje:* Mientras desarrollan el proyecto, se considera el impacto que tienen sobre el aprendizaje los recursos con los que cuenta actualmente el estudiante para desarrollar su proyecto (bibliografía, sesiones de clase, preparación de los profesores, recursos tecnológicos, asesorías de ingenieros, entre otros). Por medio de las presentaciones escritas y orales se busca observar de qué manera influyen sobre el aprendizaje dos tópicos esenciales: la forma como el

estudiante se enfrenta a la identificación de la idea de proyecto que desea realizar y el significado de enfrentarse a presentar su proyecto en una muestra abierta a estudiantes, profesores, ingenieros, empresarios y ciudadanos en general.

- *Trabajo en equipo:* se busca analizar el valor agregado de realizar en equipo un proyecto de ingeniería. Cuando hacen las presentaciones, se tienen en cuenta aspectos como el desenvolvimiento personal en medio de un equipo de trabajo. Adicionalmente, se tiene en cuenta la contribución de ExpoAndes en el desarrollo de habilidades de expresión oral, de expresión escrita, de comunicación efectiva y uso y aplicación de conceptos teóricos vistos durante el primer semestre.
- *Innovación:* Se motiva al estudiante a tener una actitud innovadora mientras realiza su proyecto. Se observa qué tan innovadora es la solución que ofrece el proyecto realizado y a que tan innovador es el proceso mismo de aprendizaje durante el desarrollo de ExpoAndes.
- *Enfoque de Ingeniería:* Se busca identificar el aporte teórico asociado con las herramientas de ingeniería a las cuales un estudiante de primer semestre se enfrenta. En esa medida se observa el aporte del profesor de ingeniería, la percepción acerca del uso de herramientas de cada disciplina para desarrollar el proyecto, para expresarse, para comunicar una idea, para escribir un informe técnico, para trabajar en grupo con otros estudiantes de ingeniería, para el diseño de una solución de ingeniería, para la identificación de problemas y el correspondiente diseño de la solución.
- *Emprendimiento:* Se busca observar cómo una actividad como ExpoAndes, que incluye factores de ingeniería, de trabajo en equipo y de innovación contribuye con una primera aproximación de la actitud de proactividad en un estudiante que empieza su formación en la Facultad.
- *Motivación:* Se evalúan factores asociados a la disposición que el estudiante tiene para realizar un proyecto de este nivel en primer semestre. Adicionalmente, se busca observar las implicaciones que proyectos de este estilo tienen en la satisfacción de estudiar ingeniería.

Con lo anterior se busca indagar la importancia que otorga el estudiante a la realización de estos proyectos y a la necesidad de realizar un proyecto similar en el futuro inmediato de su formación.

Con ExpoAndes se pretende propiciar un espacio de aprendizaje en primer semestre que motive a los estudiantes a concebir y diseñar proyectos de ingeniería en el futuro de su carrera.

3. Diseñar - Aprendizaje basado en proyectos: El caso de Proyecto de Innovación con TI en Ingeniería de Sistemas y Computación e Ingeniería Industrial (C. Ramírez y JT. Hernández)

El Proyecto de Mitad de Carrera (PMC) de Ingeniería de Sistemas y Computación ha buscado darle continuidad al ambiente generado en el proyecto de primer semestre (PS). Con el PMC se pretende aumentar la capacidad de participación en la definición y puesta en marcha de proyectos de ingeniería de interés real realizados en grupo, buscando de esta manera una contribución innovadora de las TICs para un nicho de mercado empresarial, gubernamental o académico. Se ha estructurado este espacio en dos ciclos que se desarrollan durante dos semestres (PMC1 y PMC2). Se pretende que los grupos formulen proyectos con características de innovación y sostenibilidad y realicen cuatro ciclos de desarrollo de los mismos con acompañamiento de profesores y empresarios. Con esta experiencia se ha buscado la definición de proyectos de innovación mediante el refuerzo de los procesos de aprendizaje autónomo, el desarrollo de capacidades en la conformación y organización de equipos de trabajo, la materialización de ideas en proyectos concretos y estructurados, el desarrollo de procesos de construcción de conocimiento que permanezcan en el tiempo y la exposición nacional de los resultados. Esta experiencia busca reforzar aprendizaje no tradicional donde los estudiantes encuentran un valor real de los conocimientos que han adquirido hasta el momento potenciado con la experiencia de empresarios. Esta aproximación de aprendizaje activo se ha venido formalizando en Ingeniería de Sistemas y Computación desde hace cerca de siete años cuando se iniciaron los ciclos de Seminario de Grupos de Interés. En el último año y medio se ha venido consolidando un grupo de empresarios del sector que, de manera estable, han acompañado este proceso y contribuye a la consolidación del mismo.

En particular, durante el año y medio pasado se ha logrado constituir un equipo de profesores y empresarios que han logrado trabajar con 20 equipos/semestre, 4 de los cuales han ganado un concurso patrocinado por la Facultad que les ha permitido hacer uso de recursos para avanzar en sus prototipos. Han recibido la asesoría permanente de los profesores y el soporte técnico de los empresarios, espacios en los laboratorios para desarrollar sus prototipos y recursos para los insumos necesarios.

Hasta el momento la mayoría de los estudiantes son de género masculino (95%), con edades de 20 años (35%), 21 años (28%) y 22 (12%) años en su mayoría. En el primer ciclo (primer semestre del tercer año) un 40% de los estudiantes están realizando doble programa: el 71% ingeniería de sistemas y computación con ingeniería eléctrica, el 23% ingeniería de sistemas y computación con ingeniería industrial; en el segundo ciclo (segundo semestre del tercer año) el 36% de los estudiantes están realizando doble programa: el 34% con administración, el 22% con ingeniería industrial, el 22% con ingeniería electrónica.

En ese mismo sentido y dado que los proyectos son en si mismos asociados a diferentes disciplinas se requiere el seguimiento y trabajo en equipo de profesores de diferentes áreas. Hasta el momento se han vinculado profesores de ingeniería de sistemas y computación, ingeniería industrial, diseño y expertos en temas de innovación y legalización de patentes. Cada semestre participan al menos 2 profesores de por lo menos dos Departamentos de Ingeniería.

Finalmente, el "ingrediente" fundamental en medio de este trabajo en equipo lo constituyen los empresarios que asesoran los proyectos. Se ha buscado generar alianzas con los empresarios y no con las empresas. Es importante que todas las competencias que se busca desarrollar en los estudiantes sean visualizadas en los empresarios que participan en este proceso: las dificultades y potencialidades del trabajo en equipo, la capacidad de observar y planear proyectos para el futuro, la efectividad de una buena comunicación, la proactividad y persistencia, entre otras. Es por ello que no ha sido interés en el diseño y puesta en marcha de este espacio que se realice una alianza entre los estudiantes-profesores y los empresarios interesados; en otras palabras, no se busca

que los proyectos que se realicen solucionen una problemática definida en una empresa en particular. Hasta el momento se ha contado con la activa participación de 10 empresarios colombianos líderes en empresas de tecnología de información tales como Inalambria, Fiserv, HP, entre otros. En el último año han pasado por este espacio de formación cerca de 200 estudiantes de ingeniería (40 proyectos). Se ha promovido que los proyectos estén asociados con áreas temáticas como Management Information Systems, Electronic Commerce, High-performance computing, Grid Computing, Mobile Technologies and services en contextos como Computer assisted Training, Business to Business applications, Simulation, Decision Support Systems Collaborative virtual environment.

Los proyectos ganadores de los 3 concursos que se han realizado hasta ahora se encuentran actualmente desarrollando el prototipo propuesto y fortaleciendo técnicamente el proyecto. Para ello se están desarrollando actividades como (i) promover que los estudiantes tomen asignaturas pertinentes para generar una propuesta más robusta y ii) reuniones sistemáticas con la junta directiva de empresarios y profesores. El paso siguiente consiste en que estos mismos grupos se enfrenten a concursos nacionales e internacionales donde ellos mismos tengan la capacidad de observar que tan avanzados están en el proceso de innovar y trabajar efectivamente en grupo.

Para el Diseño del proyecto se tienen en cuenta 4 fases pilares.

3.1 Formulación del Proyecto

En esta fase se pretende que los estudiantes (1) Identifiquen oportunidades de innovación; (2) Identifiquen potencialidades en el mercado nacional e internacional; (3) Identifiquen debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas en diferentes campos de la ciencia y tecnología.

3.2 Primera Presentación del Proyecto: Afiche

En esta fase se busca que los estudiantes elaboren y presenten a través de un afiche el valor agregado de su idea. Esta presentación se realiza ante el equipo académico y el equipo empresarial. Los dos objetivos de

esta actividad son: (1) recibir retroalimentación general por parte de los asistentes y (2) ser “seleccionados” por los empresarios para recibir asesoría focalizada.

3.3 Segunda Presentación del Proyecto: Afiche y Prototipo

En esta fase se busca que los estudiantes hayan consolidado su idea y que demuestren que han trabajado en equipo para la elaboración de un prototipo. Esta presentación se realiza ante el equipo académico y el equipo empresarial. En este punto debe estar redefinido el proyecto en términos de descripción detallada, mercado objetivo, necesidad que buscan resolver, análisis de sostenibilidad técnica.

3.4 Tercera Presentación del Proyecto: Muestra Pública UniAndes

En esta fase se busca que los estudiantes se enfrenten a una presentación pública de su proyecto en una feria de ingeniería que se realiza en la Universidad de los Andes. A esta feria se invitan estudiantes, profesores, investigadores, empresarios, líderes del sector público, etc. En esta feria se realiza una evaluación de todos los proyectos por medio de una encuesta que se realiza al público asistente.

3.5 Cuarta Presentación: Concurso de Selección

En esta fase se busca que los grupos de estudiantes que consideren que su proyecto a logrado alcanzar un nivel aceptable en términos de innovación, se presenten a un concurso de selección de los mejores trabajos. En esta selección participan los empresarios y el profesor coordinador del proyecto.

En este punto del proceso, el proyecto debe mostrar solidez en su formulación, su carácter innovador y su proyección al futuro, con avances claramente materializados en un prototipo. Se busca así identificar y fortalecer los grupos/proyectos que tengan condiciones para consolidarse. A los ganadores se les asigna un apoyo suplementario (en recursos financieros para poner en marcha el proyecto y asesoría) que como PREMIO le acordaría la organización del proyecto “Innovación con TI”.

4. Implementar – Aprendizaje basado en problemas: El Caso del Proyecto de Innovación Comunitaria en Ingeniería Ambiental e Ingeniería Industrial (C. Ramírez y JP. Plazas)

Conscientes de que para generar impacto positivo real en las comunidades vulnerables tenemos que unir experiencias y esfuerzos de diferentes disciplinas en ingeniería, nos hemos reunido profesionales y estudiantes de tres áreas de la ingeniería para diagnosticar y proponer alternativas de solución viables en las zonas donde se presentan problemas relacionados con el componente social[1].

En ese sentido se integra el conocimiento y la experiencia de profesores y estudiantes de ingeniería para desarrollar activamente un proyecto de intervención en comunidades con falencias en la calidad del servicio de distribución de agua potable. Se conformó un grupo de 15 personas que desarrollan el proyecto de innovación en ingeniería en el contexto de seis fases de ingeniería: Observar, Concebir, Diseñar, Evaluar, Implementar y Operar.

En búsqueda de alentar el compromiso social de los próximos ingenieros, la Universidad de los Andes y la Corporación Universitaria el Minuto de Dios lideran un proyecto de trabajo comunitario en el ámbito de la ingeniería denominado PIC- Proyecto de Innovación Comunitaria. Inspirados en la organización internacional de Ingenieros sin Fronteras (EWB-ISF), un grupo de profesores y estudiantes de ingeniería industrial, civil y ambiental, buscan intervenir positivamente en comunidades vulnerables de Colombia donde no existen las mejores condiciones de agua potable. Para iniciar este proyecto de intervención social en ingeniería se ha identificado una zona a 150 km de Bogotá donde las condiciones de agua potable no son las más adecuadas. En esta zona se vienen desarrollando diagnósticos y pruebas técnicas que ha permitido al grupo diseñar una solución pertinente apoyada en tecnología existente relacionada con los filtros de arena lentos, para mejorar las condiciones de agua potable de la zona. A continuación se realizará una descripción de la metodología de trabajo y de los planes futuros en otras zonas vulnerables de Colombia.

El grupo de estudiantes de Proyecto Innovación Comunitaria - PIC de ingeniería de las dos universidades observan la vulnerabilidad de las

diferentes comunidades con problemas de agua potable en el país. En esta etapa realizan una aproximación a la problemática determinada mediante la indagación con los posibles afectados, intercambio de ideas con expertos e investigadores, exploración de conocimientos. Una vez realizada esta observación preliminar, los estudiantes conciben la formulación, contextualización y una posible solución a la realidad observada; esta concepción requiere de un fuerte énfasis el desarrollo de ejercicios de creatividad e innovación que permita que la tecnología propuesta es adecuada para la comunidad intervenida. Después de por lo menos una fase de evaluación se pasa a la fase de diseño preliminar del prototipo y una propuesta de implementación de la tecnología para mejorar las condiciones del agua de la comunidad. Posteriormente se intensifica la asesoría de los profesores y la profundización en el desarrollo de la problemática, en esa medida se realiza el diseño con mayor precisión del prototipo a implementar, se genera mayor precisión en la implementación y se pone a operar. Durante todo el proceso la eficiencia del prototipo de filtro es evaluada semanalmente por medio de pruebas de laboratorio.

Se busca que el prototipo desarrollado por los estudiantes sea el resultado de un análisis sistemático donde se hace a profundidad: i) el alcance del proyecto (definición de la situación problemática, propósito de la innovación, Claridad en la definición del Mercado Objetivo, definición del contexto de aplicación, especificaciones de los requerimientos del usuario; ii) Integración de conocimientos adquiridos en la carrera; iii) Trabajo en equipo; iv) Innovación.

El objetivo de la aplicación de esta metodología consiste en que el grupo que participa en PIC contribuya a la mejora en la calidad de agua de consumo diario en una zona rural del país por medio de soluciones tecnológicamente sostenibles para las comunidades. Con el aprendizaje de esta primera aplicación se reformulara y mejorará el proyecto para poder ser replicado en otras zonas del país con una alta problemática de agua potable.

Con esta información pretendemos realizar la propuesta de intervención mediante una estructura organizacional viable. Para ello se utilizará el Modelo de Sistema Viable [6]. Por medio de esta herramienta cibernética

se puede concebir el diseño de una estructura organizacional que permita replicar estos procesos de intervención en comunidades marginales. En el caso de estas comunidades, un sistema viable es concebido como un sistema de actividades humanas que producen resultados aceptables para el entorno en que opera. El Modelo consta de 5 subsistemas que no pueden ser aislados unos de otros[6] : Sistema 1 o *función de implementación*, Sistema 2 o *función de coordinación*, Sistema 3 o *sistema de control*, Sistema 4 o *función de inteligencia-planeación* y sistema 5 o *función de política*. Para definir el modelo se debe diseñar la estructura de la organización teniendo en cuenta: la definición de la identidad de la organización, el diseño de modelos estructurales para que la organización opere, *la identificación de los diferentes subsistemas* y la identificación de las *actividades de apoyo* (Espejo, 1999).

5. Operar - Project Based Learning: Multidisciplinary experience. Preparing Young Engineers to Enter Today's Workforce Using Real World Multidisciplinary Design Experiences (M. Steiner)

The engineering profession is at a crossroads. The world is becoming increasingly more complex and connected, the advance of science is accelerating, and socio-technical problems are abundant. Engineering has always been viewed as a problem-solving profession, but today's problems require us to take a fresh look at how we solve problems in the context of this new world. As educators we must ask ourselves whether we are truly meeting the needs of today's young people to become engineers. Are we showing students what it really means to be an engineer? Are we inspiring them with the potential benefits they offer to the world? Are our young engineers prepared to successfully integrate knowledge from diverse areas of the sciences, mathematics, arts and humanities, and social sciences, to solve the complex problems that the world is facing?

Engineering is an increasingly difficult profession to define. We broadly consider ourselves problem solvers. We are responsible for many of the technological marvels that people use everyday, yet many people do not understand or appreciate the engineering profession. In fact, even prospective engineering students are often at a loss when asked about what engineers do. Earlier, during their secondary education,

they may have been enthused by what technology has to offer, but upon entering a university to study and ultimately learn how to practice engineering they are often unsure of what it means to be an engineer. Engineering curricula at many universities place a heavy emphasis on the introduction of a “fundamental body of knowledge” during the first years of study. This has not changed in decades. Unfortunately, by the time students are ready to graduate, many are not yet ready to actually practice engineering. In the past, the assumption was that the analytical skills practiced in solving well-defined physics and math problems would provide a basis for application at their place of employment where they are charged with solving open-ended and often ill-defined problems.

Organizations today that employ engineers are faced with complex business issues that require quick response from technical professionals who understand and value multidisciplinary perspectives. The learning curve for entry-level engineers is getting steeper. Engineering graduates are being asked to “hit the ground running” and to be adaptive to an ever-changing world. Not only must our young engineers be technically competent, but they must also have teamwork and communication skills that allow them to effectively work with others who may not have a technical background. They must be able to effectively integrate knowledge and information from diverse technical and non-technical areas. They must exhibit leadership skills with confidence, and command respect from other working professionals. They must have the sensitivity, integrity, and ethical understanding to appropriately put the work they do and the solutions they come up with into a broader social context.

Sponsored real world multidisciplinary design projects provide an opportunity for addressing many of the issues faced with preparing our young engineers for the 21st century. Potential projects encompass important contemporary issues such as technology innovation and entrepreneurship, manufacturing productivity and quality, environmental conservation and alternative energy, and aids for people who are physically and/or mentally challenged. Sponsors identify projects that are important to them, but not on their critical path. Some of the best projects involve problems that may be more speculative and

risky from a business standpoint and for which the sponsor may have tried and failed to find a solution in the past. Problems that benefit from fresh, creative, “out-of-the-box” thinking are a good fit. Meanwhile, as part of the learning experience, student teams are expected to properly scope the level of effort and seriously consider the resources and time they have available to successfully accomplish a more focused set of team proposed project objectives. In addition to defining an important problem, sponsors provide a significant grant as well as their direct participation with the students, faculty, and staff who work to provide design solutions.

The complicated challenge for instructors and sponsors becomes calibrating the high expectations and idealistic aspirations of students with a realistic set of objectives and plans. A multidisciplinary team of faculty works together with sponsor mentors to help students develop a clear understanding of design objectives, constraints, and risks. Faculty members who work with students on sponsored projects typically have prior experience actually working as engineers. As a first pre-course assignment students submit an introductory memo and resume expressing their interest in working on a project along with their qualifications. They are typically quite anxious to have a real world engineering design experience to help them prepare for the workforce. Many students will favor projects that have social impacts or deal with familiar subject areas for which they have had some prior exposure. They will naturally prefer design problems with few constraints and would rather approach design from a “clean sheet” perspective. It may be difficult to motivate students to work on projects that involve the application of existing technology to complex systems for which they may have had little or no prior background or exposure. And, it can be difficult to keep students motivated on projects for which the best approach to design is to use off-the-shelf hardware and time tested methods.

As a multidisciplinary team, faculty members will offer differing perspectives and approaches on how to solve problems and advise students. Each of us has different teaching styles and experience, and there is often a fine line between “telling-teaching” and allowing time for students to “discover-fail-succeed”. Similar to the famous story

about the blind men and the elephant, each faculty member brings different perspectives and approaches for helping students solve problems. This sometimes creates some consternation and/or amusement on the part of students seeking help, so we must explain to them that “this is real world”, and they can expect such differing viewpoints when seeking advice from consultants, experts, and stakeholders about problems they will face in the real world. In fact, such diversified perspectives, while sometimes frustrating for students and faculty alike, is an integral part of teaching students about the importance of carefully defining requirements and broadly considering alternative solution paths when solving complex problems.

During the early stages of a project, students are instructed to broadly and thoroughly explore the background to a problem, perform competitive benchmarks, and research prior art. Students are encouraged to make frequent and direct contact with sponsor mentors and to develop a productive working relationship. Ultimately, a major part of their grade will depend upon their working relationship with their sponsor mentor(s). Project success often appears to be directly correlated with this vital relationship. To cultivate teamwork, students partake in interactive group exercises that teach about customer requirements definition, engineering specifications, project planning, concept generation and selection, risk assessment, problem decomposition, engineering analysis, design for manufacture, prototype development, experimental methods, and testing. Faculty members take on multiple roles of coach, consultant, referee, advisor, manager, and ultimate assessor. The use of traditional lecture is minimal. Impromptu and informal presentations by or to students are a more frequent occurrence.

The multidisciplinary aspects of a project present themselves as a natural occurrence of the design process. Most, if not all, real design projects are inherently multidisciplinary. Working with sponsors, faculty will configure teams based upon the expected disciplinary content in a project. Faculty are interested in having students exercise and tie together or integrate knowledge from earlier coursework in their particular disciplinary specialty as well as from general engineering or the basic sciences and mathematics. It is not our interest to make electrical

engineers do mechanical engineering, or industrial engineers become materials engineers, etc. Instead, each student is expected to participate in a design project that is suitable and appropriate for his or her background and area of interest. Meanwhile, we are also interested in exposing students to different thinking patterns and making them more receptive to alternative problem solving approaches. We want each student to actively participate, so each student is expected to develop an appreciation and in-depth awareness of all the critical technical aspects of their project and be able to provide impromptu project status reports at any time.

While at the beginning stages of a project all team members will work to develop a common set of team objectives and plans, after a project moves into the concept development stage, role definition becomes more clearly defined. For example, electrical engineers will work on control circuits or signal processing, mechanical engineers will work on machine design, heat transfer, or fluids dynamics, industrial engineers will work on manufacturing systems integration or workspace planning, and materials engineers will provide consultation on material properties and selection, or work on the application and/or processing of new advanced materials. It is best to allow teams to be “self-directed” and to allow leadership and team organization to emerge naturally. This approach instills project ownership and initiative on the part of the students. For a well-orchestrated team, the dynamic interplay between students becomes an exciting and gratifying performance for faculty and sponsor to observe. For dysfunctional teams, faculty and sponsor intervention, when properly administered in a timely fashion, can help save a team, if the students are willing to listen and accept help.

Many factors contribute to team success. These include many of the same “best practices” that are often cited for high performing product and process development teams in business and industry. Ultimate assessment is culminated in the form of a final team oral presentation, project demonstration, and written technical report that is delivered to the sponsor. The project demonstration is crucial to making it real! Concepts and analytical evaluations alone are not enough. Teams are required to show a proof of concept in the form of a physical model, working prototype, or testable artifact. After participating on sponsored

projects, students will inevitably express a new awareness of the complexity associated with a real-world problem. Depending upon project dynamics, different students will learn different things on different projects. Learning points often expressed and documented by students in their final semester memos include:

1. Improved teamwork, leadership, and communication skills
2. Understanding of how the design process really works
3. Development of an appreciation for the importance of “attention to detail”
4. Understanding of the role of test and measurement in design
5. Application of analytical knowledge and skills from prior coursework
6. Understanding about a new and different technical or non-technical area
7. Exposure to the business aspects of engineering

Multidisciplinary design experiences offer a customized form of learning for students. Students are exposed to and develop a new awareness for a broad array of subject areas. At the same time, they also become deeply immersed in the application of specific knowledge content. Since there is little formally delivered content, students are forced to engage in a more active style of learning. The experience serves to exercise phases of the learning process often missed in more traditional courses and thus serves to cement prior learning. It is clear that challenging real-world design experiences help students integrate knowledge. There is a growing consensus that such experiences should be used throughout the engineering curriculum starting in the first year.

6. Conclusiones Generales

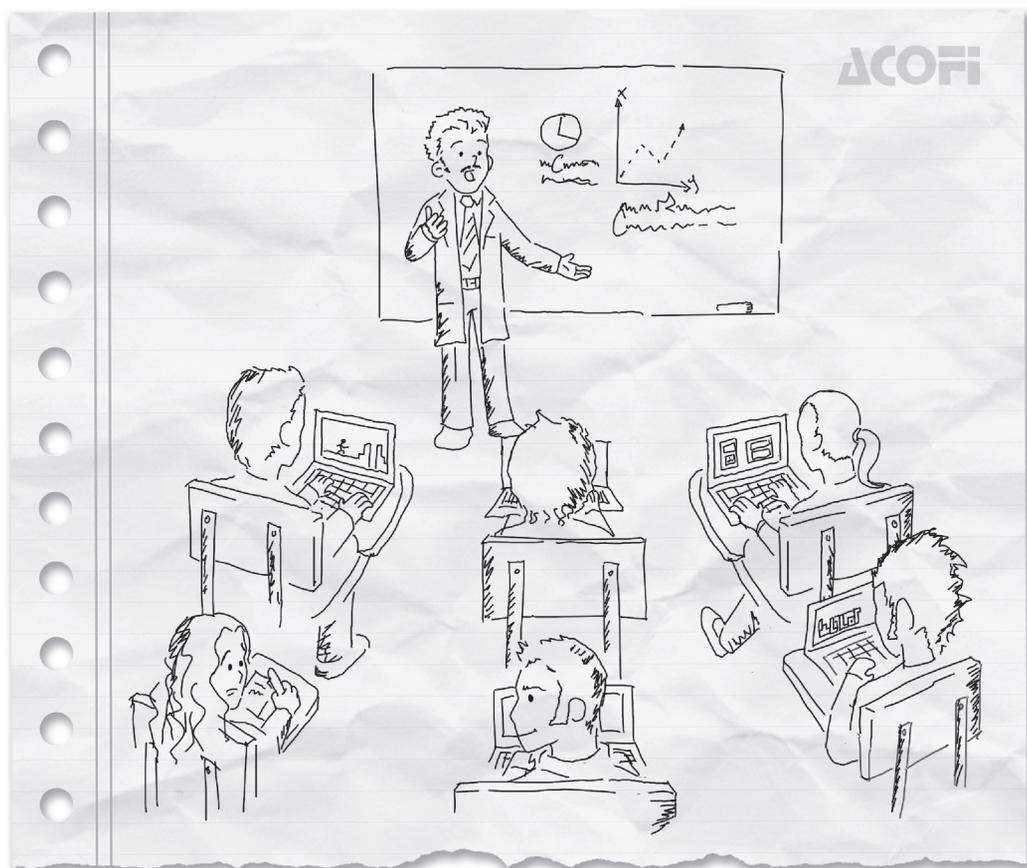
Con este capítulo esperamos haber dado a conocer 4 experiencias académicas en ingeniería mediante las cuales, en diferentes momentos de la carrera, los estudiantes desarrollan proyectos. Por medio de la concepción y diseño de estos proyectos hemos logrado definir espacios de aprendizaje donde los estudiantes desarrollen competencias de trabajo en equipo, comunicación oral y escrita, refuercen sus áreas temáticas y aprendan el valor que tiene el hecho de trabajar no solo con estudiantes y profesores, sino con empresarios-ingenieros.

Con estos procesos de aprendizaje hemos buscado además que, mediante el diseño del proyecto, los estudiantes fortalezcan su actitud de emprendedores y de innovadores. Finalmente se espera que los proyectos sean llevados hasta una fase aceptable de implementación; pero sin duda lo más importante es que logremos desarrollar una actitud innovadora que les permita estar en constante disposición a aprender a aprender, a aprender haciendo y a aprender de otros.

7. Referencias

- Aldana, E. Reyes, A. (2004). *Disolver problemas: Criterio para la formular proyectos sociales.*
- Falcao, H. Fontes, J (1999). ¿En quién se pone el foco? Identificando "stakeholders" para la formulación de la misión organizacional. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, 15.
- CDIO. <http://cdio.org>. Retrieve on February 15 (2008).
- S. Gunnarson "Outlook". In: CRAWLEY, Edward, et al, *Rethinking Engineering Education*, Springer US, 241-256, 2007
- ABET, "Criteria for accrediting engineering programs", <http://www.abet.org>, Retrieve on February 15 (2008).
- Beer, Stafford (1985). *Diagnosing the system for organizations.*
- Ramírez, María Catalina; Jiménez, Nestor; Hernández, José Tiberio. *Teamwork and innovation competencies: A first semester engineering students hands-on course.* International Conference on Engineering Education – ICEE 2007- Coimbra Portugal.
- Hernández, José Tiberio; Ramírez, María Catalina. *Innovation and Teamwork Training in Undergraduate Engineering Education. The fair and the contest: milestones of innovation.* Octavo Workshop ALE Active Learning Engineering 9-11 de Junio del 2008- Bogotá Colombia.
- Ramírez Catalina; Hernández, José Tiberio;. *Teamwork and innovation competences: a first-semester engineering students' hands-on course.* SEFI 2008 2-5 Julio – Aalborg-Dinamarca.
- Ramírez, María Catalina; Jiménez, Nestor; Hernández, José Tiberio. *ExpoAndes: la experiencia de desarrollo de competencias de trabajo en equipo para generar aprendizaje en primer semestre de ingeniería.* ALAS 2007 Julio- Ibagué - Colombia.

Sección 3. | *La tecnología en la educación: La indagación y el diseño en los laboratorios*



La indagación y el diseño en los laboratorios

Por: Mauricio Duque, Universidad de los Andes, Colombia

Haciendo una simplificación, la enseñanza podría clasificarse en dos modalidades (Bruner, 1961):

- Modalidad de exposición
- Modalidad basada en hipótesis²³

En la primera, el estudiante fundamentalmente escucha, tratando de unir cabos a partir de la información que está recibiendo. Realmente quien está activo es el profesor, quien se encuentra involucrado pensando, anticipando, organizando. Podría decirse que quien realmente está aprendiendo es el profesor. Por ello, no es de extrañar que en muchos temas un profesor termine por comprenderlos a través de sus primeras experiencias enseñando. De hecho en [Sousa, 2006] se indica que enseñar representa la estrategia que más facilita recordar. Sin duda es importante que aprenda el profesor, pero el estudiante es la razón de ser del profesor.

En la segunda modalidad, el estudiante participa del proceso muy cerca del profesor. El estudiante en su afán por encontrar sentido, por comprender realiza dos tipos de actividad: buscar información y proponer hipótesis que va validando o rechazando, en la búsqueda de regularidades y patrones.

A menudo se afirma que la primera modalidad es mejor, pues el profesor presenta rápidamente de forma “rigurosa” y “organizada” la temática, mientras que si se le deja al estudiante hacer el trabajo, las cosas podrían quedar desordenadas, incompletas y poco rigurosas.

Sin embargo, la investigación científica parece contradecir esta opinión que el sentido común podría validar muy rápidamente²⁴. La modalidad

²³ Podría asociarse a aprendizaje activo y aprendizaje por descubrimiento.

²⁴ En ciencias en general el sentido común no es un buen consejero. Este, además de ser poco científico, se sustenta en concepciones previas, en mitos y en la cultura popular.

de aprendizaje por hipótesis no solo es más interesante, sino mucho más efectiva que la primera [Bruner, 1961], pues facilita recordar las cosas. Bruner presenta algunos estudios que muestran cómo un estudiante puede recordar más fácilmente si es él quien logró ensamblar las cosas, buscar las conexiones, ensamblar una estructura, con respecto al caso en que el profesor fue el que dio las conexiones y la estructura.

Ya en [Dewey, 1910] se mencionaba el aprendizaje por descubrimiento y la indagación como estrategias apropiadas en contraposición de estrategias de corte expositivo.

En esta sección se hará una breve presentación de la indagación como estrategia de enseñanza aprendizaje. Ello no implica que la Indagación deba ser la única estrategias, aunque lo que se sabe sobre el tema si sugeriría que debe estar presente con gran intensidad.

Entre las estrategias complementarias se encuentra el diseño, el ensamble y prueba de prototipos, la prueba de materiales o la resolución de problemas. Pero incluso, estas estrategias podrían impregnarse de un alto nivel de indagación.

1. Razones para estructurar laboratorios desde una perspectiva de indagación

En el reporte [Boyer, 2000] se presenta una mirada crítica a las denominadas “universidades de investigación” desde la perspectiva de sus actividades docentes. Después de examinar una posible crisis en este sentido, entra en las propuestas para resolver dicha situación. La piedra angular se centra en promover la investigación como estrategia de enseñanza-aprendizaje en estas universidades. Lo que hay que llevar al aula, no son los resultados obtenidos por los grupos de investigación, como a menudo se sugiere, sino las estrategias de trabajos de estos grupos: la indagación.

Examinando los criterios de (ABET 2005), varios de ellos parecerían encontrar un mejor desarrollo desde una perspectiva de indagación:

- Habilidad para diseñar y realizar experimentos, al igual que para analizar e interpretar datos.

- Habilidad para diseñar sistemas, componentes o procesos que satisfagan necesidades con restricciones realistas, tales como económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, “manufacturables” y sostenibles.
- Habilidad para funcionar en equipos multidisciplinarios.
- Habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Habilidad para comunicar eficazmente.
- Capacidad y reconocimiento de la necesidad para comprometerse en un aprendizaje de por vida.
- Habilidad para utilizar técnicas y herramientas modernas de ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería.

Sin duda algunas de ellas pueden ser promovidas desde los espacios de las clases expositivas, pero los resultados pueden ser bastante limitados debido al formato de las mismas, más efectivo en la comunicación de información cuando tiene sentido y significado para el estudiante, que en el desarrollo de habilidades (Callejas, 2005).

Finalmente, la enseñanza basada en la indagación ha tenido un desarrollo conceptual y práctico en las últimas décadas que parece confirmar sus bondades, ya mencionadas hace muchas décadas por Dewey.

La utilización del diseño en ingeniería es completamente natural. El diseño en ingeniería podría ser mencionado como el equivalente de la indagación para el científico. Al igual que la Indagación, el diseño puede encontrar en los laboratorios de los currículos clásicos de ingeniería, el lugar más apropiado para su utilización.

Desde esta perspectiva, el formato clásico de los laboratorios parece no responder a las necesidades de formación. En efecto, resulta difícil de explicar que un estudiante siguiendo una guía que lo lleva de la mano en un laboratorio, que lo único que pretende es poner en práctica lo visto en la clase expositiva en el marco de ejercicios de solución única o que le permiten simplemente verificar las fórmulas y relaciones que ha debido aprenderse y utilizar en ejercicios, en el marco de una experiencia de laboratorio, pueda desarrollar habilidad para diseñar y realizar experimentos o para diseñar sistemas tecnológicos. A menudo el

laboratorio queda en actividades de aplicación que no son malas, pero que son insuficientes desaprovechando así la potencialidad de estos ambientes de aprendizaje.

Ya en el campo de la enseñanza de las ciencias este tipo de laboratorios, conocidos como libros de cocina, mostraron su baja eficacia en promover conocimientos y comprensión superiores (NRC, 1997; Minstrell, 2000; NRC, 2000a).

2. Tipos de conocimiento que se pueden promover en las prácticas

Una taxonomía que puede resultar particularmente útil en comprender la indagación como estrategias de enseñanza es la dada por (Furtak, 2007):

Conocimiento declarativo: representa aquello que se puede declarar, enunciar, de cierta forma, aprender de memoria. Datos, fechas, definiciones, fórmulas, leyes, normas. Ubicado en el contexto apropiado, puede ser conocimiento muy valioso. Sin embargo, desconectado de un saber hacer, resulta simplemente información inútil. Por ejemplo conocer la definición de filtros²⁵, conocer sus tipos y características, conocer sus modelos.

Conocimiento procedimental: hace referencia a los procesos, procedimientos. Se puede describir por medio de flujo gramas, algoritmos. Hace referencia a como adelantar ciertas tareas que se pueden sistematizar efectivamente en un procedimiento. Pueden tener un carácter más o menos mecánico, si bien implica la toma de decisiones en el desarrollo del mismo. Por ejemplo, conocer herramientas de análisis de filtros como la elaboración de un diagrama de BODE o la síntesis de un filtro a partir de una función de transferencia.

Conocimiento esquemático: hace referencia a un nivel más alto del conocimiento declarativo. A este nivel el estudiante puede conectar cosas, explicar, predecir. Por ejemplo, puede explicar el funcionamiento

²⁵ Los filtros a los que se refiere esta parte son los que permiten eliminar o resaltar ciertas frecuencias en una señal.

de un filtro, relacionar diferentes filtros naturalmente existentes en la naturaleza.

Conocimiento estratégico: de alguna forma integra los conocimientos anteriores. Este conocimiento hace referencia a la capacidad para en un contexto identificar qué requiere para resolver un problema, qué conocimiento requiere y definir una estrategia propia de solución. No se está siguiendo un procedimiento, se está creando y siguiendo uno nuevo de forma explícita o implícita. Desde la perspectiva de la escuela de Harvard (Stone, 1998), se evidencia comprensión profunda al poder abordar contextos novedosos y utilizar flexiblemente el conocimiento. Por ejemplo, el estudiante encuentra en un sistema mecánico un filtro implícito y es capaz de hacer ajustes al diseño mecánico desde esta perspectiva.

3. Qué implica aprender indagando

Un error común es asociar la indagación con el denominado “método científico”. Sin embargo, un examen más cuidadoso (NRC, 2000) muestra una imagen mucho más compleja que un procedimiento lineal y algorítmico como el que propone el método científico. Se trata de poner en movimiento habilidades cognitivas importantes:

La indagación científica se refiere a las diversas formas en que los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en evidencia derivada de su trabajo. La indagación también se refiere a las actividades de los estudiantes en las cuales desarrollan conocimiento y comprensión de ideas científicas, al igual que una comprensión de cómo los científicos estudian el mundo natural.

Incluso, una mirada a reflexiones de Einstein (Holton 1982) muestra la complejidad de la indagación.

Diferentes publicaciones dan cuenta de diferentes modelos que describen la enseñanza de la ciencia basada en Indagación. A continuación se presentan elementos desarrollados en el marco del programa Pequeños Científicos en compañía de la Universidad de Denver en Colorado

y del programa de Panamá de “Hagamos ciencia” promovido por SENACYT. Este marco se desprende de múltiples trabajos desarrollados en torno a la indagación y su utilización como estrategia de enseñanza-aprendizaje.

3.1 Constituyentes de la indagación

Si bien, las maneras para estudiar el mundo natural varían, en general se pueden encontrar tres componentes fundamentales, que si bien se presentan en formas variadas, se encuentran en el corazón de una actividad indagatoria:

Preguntas: el foco de una investigación es una pregunta, o un postulado que se desea resolver o verificar. La pregunta apropiada no es el comienzo, sino el resultado de un proceso de cuestionamiento. Llegar a una buena pregunta es parte de la solución científica del problema. La pregunta o preguntas finalmente propuestas responden al menos a dos características:

- **Productiva:** tiene sentido desde la perspectiva y naturaleza de la disciplina siendo posible trabajarla. Muchas de las preguntas que nos hacemos, no son directamente productivas, sino que deben ser descompuestas en preguntas abordables. En muchas otras ocasiones simplemente las preguntas no pueden ser resueltas desde una perspectiva científica, pues simplemente no se enmarcan en el alcance de la disciplina.
- **Genuina:** Si bien en el trabajo del investigador esta característica se puede suponer como cumplida, en el caso de los estudiantes no necesariamente. Se trata de la pregunta propuesta por el profesor, pero que no tiene sentido y/o significado para el estudiante?

Búsqueda de información y construcción de evidencias: Buena parte del trabajo del investigador se concentra en estrategias para recolectar información, datos, series de tiempo, resultados previos. Todo este conjunto de información requiere ser consolidado y validado de forma que puedan surgir evidencias que puedan soportar las respuestas o la validación de los postulados. Múltiples estrategias son posibles, dependiendo del problema y de la disciplina. La capacidad para observar, registrar, medir, comparar, detectar patrones, encontrar propiedades, clasificar, procesar información son fundamentales en esta

etapa. Entra desde la observación del fenómeno, hasta el diseño y realización de experimentos, pasando por la búsqueda bibliográfica.

Construcción de explicaciones y respuestas sustentadas en evidencias: Característica fundamental del conocimiento científico. La labor de construir conocimiento tiene un espacio especial en esta componente. Cuando se emplea con estudiantes, en el desarrollo de esta componente es el momento de estructurar conocimientos, no desde la exposición del profesor, sino desde la reflexión del estudiante con apoyo del docente.

La presencia de las tres características anteriores podría interpretarse como la esencia de la indagación. Sin embargo, de la lectura de (Holton 1982) haciendo referencia a Einstein se desprenden otras características de la indagación relacionadas con la creatividad, la imaginación, por ejemplo, aspecto de gran interés en la formación del ingeniero.

3.2 Facetas involucradas en la indagación

Más allá de las estrategias de indagación, se pretende construir conocimiento de 4 tipos, partiendo de las ideas propuestas por (Furtak, 2007a):

Naturaleza del conocimiento: Se busca que el estudiante no sólo construya conocimiento científico y tecnológico, sino que también reflexione sobre el mismo conocimiento, sus alcances, su validez y sus limitaciones. El hecho de participar en procesos de construcción de conocimiento por indagación no implica lograr estos objetivos. Implica seguramente reflexión del estudiante en torno al conocimiento y a cómo lo construyó, lo cual además puede promover meta cognición.

Conceptual: Poderse desempeñar adecuadamente como ingeniero implica comprender conceptos centrales de la disciplina. Esta construcción se puede dar fundamentalmente en la componente de construcción de explicaciones y respuestas.

Habilidades para la investigación: se relaciona con habilidades genéricas para investigar o indagar, para desarrollar, para diseñar, para probar y analizar, para sintetizar y evaluar, las cuales el estudiante las desarrolla

investigando, indagando, diseñando, evaluando. Es la verdadera inclusión de la investigación y el quehacer del ingeniero en el aula.

Habilidades sociales en la disciplina: Toda disciplina se construye en interacciones sociales. Por ello el trabajo en grupo, en contextos interdisciplinarios, es un escenario que implica competencias definidas, cada vez más apreciadas por los empleadores. Los debates, las discusiones y la construcción de conocimiento en grupos, tiene sus códigos y principios. Poder interactuar con otros profesionales implica poder compartir códigos de comunicación, códigos de presentación y validación de nuevo conocimiento, estrategias e interfaces de trabajo.

3.3 Estrategias didácticas que facilitan la indagación

Finalmente, algunas estrategias didácticas pueden apoyar el desarrollo de las actividades de indagación. A continuación se mencionan tres:

Guías para el estudiante y el profesor: Conducir una actividad de indagación no es una actividad fácil de realizar. El diseño de las experiencias que permitan el logro de los objetivos educacionales no es una actividad fácil. Adicionalmente, a menudo las actividades de laboratorio se dejan a cargo de estudiantes de postgrado que han sido educados en un formato clásico de laboratorios y que en consecuencia replican estas prácticas. Por ello, el desarrollo de guías de laboratorio para el profesor y para los estudiantes facilitan esta actividad. Excelentes ejemplos de estas guías pueden ser encontradas en FOSS²⁶ o MSTC²⁷. Si bien estos trabajos han sido desarrollados para educación media, dan una buena idea de lo que se podría lograr en educación superior, al menos en los primeros niveles (Duque, 2004).

Trabajo cooperativo: El trabajo en grupo es un potenciador importante de procesos de indagación. La posibilidad de discutir con otros, debatir, discrepar, proponer caminos alternativos, plantear hipótesis, validarlas, comunicar, argumentar, son sin duda algunos de los intereses del trabajo en grupo. Sin embargo, el trabajo colaborativo no resulta

²⁶ FOSS: Full option science system de la Universidad de California en Berkeley.

²⁷ MSTC: Middle school Science and technology for children.

simplemente de poner a trabajar dos o más personas. El trabajo colaborativo implica varias condiciones. Es en este punto que las estrategias de trabajo cooperativo pueden ser útiles (Felder, 1994). Al menos tres características deben ser logradas:

Interdependencia positiva: implica que la tarea es colocada de tal forma que los miembros del grupo deben cooperar. Si uno de ellos no realiza el trabajo, todo el resto del grupo se ve afectado. Igualmente, el éxito de un miembro del equipo, se refleja en el éxito global del equipo.

Rendición de cuentas individual: Cada miembro del equipo puede ser medido independientemente en su desempeño. La existencia de roles definidos ayuda a este principio.

Interacción directa, trabajo de equipo: Los integrantes tienen trabajo directo entre ellos. No se trata simplemente de dividir el trabajo en partes independientes y cada cual realizar su parte.

Cuaderno de notas, el portafolio: Uno de los elementos que más ayuda a estructurar es el registro de lo que va sucediendo. Desde esta perspectiva es importante que los estudiantes registren lo que va pasando, sus ideas previas, sus conjeturas, sus predicciones, los resultados, el análisis, las explicaciones, los datos, las observaciones, las conclusiones. A menudo se le solicita al estudiante la presentación de un trabajo final, pero se pierde la traza del proceso. En esta dirección el portafolio se convierte en una herramienta importante que además puede promover meta cognición (Bulwik, 2004).

En este cuaderno o portafolio no se puede esperar que todo lo que se escriba esté bien. Lo importante es el proceso.

4. Algunos lineamientos para desarrollar laboratorios por indagación

Como ya se mencionó, introducir la indagación en los laboratorios no es una labor evidente o intuitiva. A continuación se presentan algunos lineamientos que pueden ayudar en esta labor.

4.1 Definición de los objetivos educacionales

El primer paso es definir cuidadosamente los objetivos educacionales del laboratorio y en general de la asignatura como un todo. Sin claridad

en los objetivos educacionales, puede resultar poco efectivo el ejercicio de diseño de los laboratorios.

Pero esta definición de objetivos educacionales debe darse desde una “gramática” apropiada. Varios autores por ejemplo utilizan la taxonomía de Bloom para proponer la estructura en la redacción de objetivos (Felder, 2004; Stone 1998; Callejas, 2005).

Los objetivos educacionales deben ser claros, medibles y hacer referencia a lo que se espera que el estudiante pueda hacer al final de la asignatura o del laboratorio.

Las expresiones tradicionales de objetivos desde esta perspectiva resultan inapropiadas:

- 1) Listar las temáticas como objetivos educativos: práctica común. Sin embargo, colocar el título de una temática no indica que se espera que el estudiante haga con ella, ni cual es el nivel esperado de comprensión.
- 2) Utilizar verbos como saber, conocer, dominar, saber, comprender, los cuales resultan vagos en términos de lo que se espera que el estudiante haga con ese conocimiento, o el nivel que se espera.

En el caso particular de los laboratorios, es mucho más evidente mencionar las habilidades y destrezas esperadas del estudiante. La comprensión de un concepto debe expresarse mejor desde lo que se espera que el estudiante pueda hacer con él.

4.2 La trama, el camino de aprendizaje, las actividades

Conocida la meta educativa, es necesario conocer con bastante claridad desde donde se arranca y a partir de este punto imaginar una trayectoria de aprendizaje que le permita al estudiante ir de la situación actual a la situación deseada. A la vez que se reflexiona sobre este aspecto, resulta importante ir asociando actividades de laboratorio entrelazadas que brinden el ambiente de aprendizaje adecuado. Es preferible un conjunto de actividades conectadas, que eventualmente lleven a la construcción de uno o varios sistemas, que la utilización de actividades aisladas y desconectadas. En (Germinet, 1997) se puede ver una aplicación interesante.

Igualmente un examen de FOSS o MSTC puede ser fuente de inspiración. Es de esperarse que solamente hasta que se pruebe el esquema trazado, sea posible hacer los ajustes necesarios y en consecuencia lograr una trama de aprendizaje apropiada.

Rigurosamente, el diseño de un laboratorio requiere de pilotaje y evaluación, lo cual rara vez se realiza con el rigor requerido. A menudo se confunde evaluación con percepción.

4.3 Las preguntas, raíz de la indagación

Sin pregunta no hay investigación. Como ya se afirmó, es importante que los estudiantes indaguen teniendo de marco una pregunta con sentido, significativa, auténtica y productiva. Para ello, es necesario proponer situaciones adecuadas para que los estudiantes puedan definir sus preguntas o puedan apropiarse de las preguntas sugeridas.

No basta con plantear las preguntas del profesor, es necesario “venderlas” al estudiante, que éste las sienta como propias y realmente quiera encontrar una respuesta.

En consecuencia la guía de laboratorio para el profesor debe proponer preguntas y estrategias apropiadas para que los estudiantes construyan sus propias preguntas.

4.4 Descripción breve de la sesión

Para que un laboratorio de este tipo funcione se requiere adicionalmente una descripción breve de la actividad y del rol del profesor en cada etapa. Estrictamente hablando, puede ser más importante la guía para el profesor que la guía para el estudiante. Finalmente este último si está en una actividad genuina de indagación, construye su propia guía.

4.5 Características de una actividad de indagación

Finalmente se mencionan algunas características comunes a una actividad de indagación que son propuestas por el EXPLORATORIUM en San Francisco y de las cuales se presenta a continuación una versión adaptada:

1. Involucra aprendizaje a través de la interacción directa con materiales con fenómenos naturales y procesos.
2. Las investigaciones se inician a partir de las ideas o preguntas de los estudiantes, que le son significativas y que despiertan interés por explorarlas. Estas preguntas en general son orientadas por preguntas del profesor o por actividades iniciales propuestas.
3. Requiere el uso de habilidades de pensamiento:
 - a. Observando (recolectar, medir, comparar evidencia)
 - b. Generando predicciones
 - c. Planeando y ejecutando
 - d. Registrando, encontrando patrones.
 - e. Interpretando
 - f. Comunicando (Argumentando, construyendo explicaciones)
4. Requiere discusión con otros, trabajando cooperativamente y compartiendo ideas
5. Permite múltiple puntos de vista y aproximaciones
6. Facilita el desarrollo de “grandes ideas”
7. El nivel de comprensión es adecuado para el nivel de desarrollo de los estudiantes
8. Sugiere y conduce a nuevas investigaciones
9. Requiere que el estudiante actúe críticamente
10. Cantidad y variedad apropiada de materiales
11. Materiales y equipos seguros y apropiados para ser utilizados directamente por los estudiantes, donde estos comprendan su funcionamiento.
12. Pertinente para la experiencia de los estudiantes de diferentes culturas.
13. Interesante e intrigante para los estudiantes.
14. De tiempo al desorden inicial antes de llegar a una investigación más focalizada y estructurada.
15. Las instrucciones para iniciar son claras.

5. Unas últimas palabras

Cada vez es más frecuente encontrar literatura sobre la indagación como estrategia pedagógica. Su desarrollo se ha centrado más en la escuela primaria y secundaria, pero es común que en la medida en que sube el nivel, el interés por la innovación educativa se va

perdiendo. Sin embargo, futuros estudiantes en unos años ya vendrán con habilidades de indagación y con estilos de aprendizaje más cercanos a esta estrategia, por lo que los laboratorios tradicionales les resultarán aun más aburridos y menos apropiados que a los estudiantes actuales o del pasado.

Si los laboratorios no se anticipan a estos cambios, se puede generar una profunda crisis en el sistema de educación superior. Ya las Universidades han ido perdiendo el monopolio en la generación de nuevo conocimiento, podrían perderlo también en la formación de los ingenieros.

6. Bibliografía

- Abet (2005) ABET, *Criteria for accrediting engineering programs*, 2005.
- Boyer (2000) Boyer Commission, B. Albert, S. Kenny, W. Booth, M. Glaser, C. Glassick, and S. Ikenberry, *Reinventing undergraduate education: a blueprint for American's reserach Universities*, 2000
- Bulwik (2004) Bulwik, "La evaluación de los aprendizajes y el portafolio," *Educación química*, vol., 2004.
- Bruner (1961) J. Bruner, "The art of discovery," *Harvard educational review*, vol. 31, 1961.
- Callejas (2005) M. M. Callejas, *Desarrollo de competencias en ciencia e ingeniería: Hacia una enseñanza problematizada*, Didácticas magisterio, Bogotá, 2005.
- Duque (2004) M. Duque, *Active Learning Environments for Automatic Control Courses*, INEER, 2004.
- Felder (1994) R. Felder, *Cooperative learning in technical courses: procedures, pitfalls, and payoffs*, North Carolina State University, North Carolina, 1994.
- Felder (2004) R. Felder and R. Brent, "The ABC'S of engineering educational: abet, boom's taxonomy, cooperative learning, and so on," *American Society for Engineering Education annual coference & Exposition*, Salt Lake, Utah, USA, 2004.
- Furtak (2007) E. M. Furtak and M. A. Ruiz-Primo, *Studing the effectiveness of four types of formative assessment prompt in providing information about students' understanding in writing and in discussions*, Chicago, 2007.

- Furtak (2007a) E. M. Furtak and T. Seidel, *Recent experimental studies of inquiry-based teaching: a conceptual review and meta-analysis*, Baltimore, Maryland, 2007.
- Germinet (1997) R. Germinet, *L'ingénieur ingénieux*, Odile Jacob, Paris, 1997.
- Holton (1982) G. Holton, *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*, Alianza Editorial, Madrid, 1982
- Minstrell (2000) J. Minstrell and E. Van Zee, *Inquiring into inquiry learning and teaching in science*, AAAS, Washington, 2000.
- NRC (1997) NRC and Committee on undergraduate science Education, *Science teaching reconsidered: a handbook*, NAP, Washington, 1997.
- NRC (2000) National Research Council, NAP, *Inquiry and the national science education standards: a guide for teaching and learning*, National Academies Press, National academies, 2000.
- NRC (2000a) NRC, *Inquiry and the national science education standards: a guide for teaching and learning*, National Academies Press, National academies, 2000.
- Sousa (2006) D. Sousa, *How the brain learns*, Corwin Press, Thousand Oaks, 2006.
- Stone (1998) M. Stone, V. Perrone, P. David, and D. Wilson, *Teaching for understanding*, Jossey-Bass, San Francisco, 1998.

ZAP!, Experimentos en electricidad para los estudiantes realizados en sus casas

Por: Jerome Pine, Caltech, EEUU

1. Introduction

In 1988, John King and Phil and Phyllis Morrison at MIT developed an electricity course for freshmen called ZAP! It included laboratory experiments to be done by students in their rooms, elegantly invented by John King, and able to be done with relatively simple materials. A year later, when Jerry Pine was assigned to teaching electricity to Caltech freshmen, he adapted the labs of the MIT course and made some additions. The Caltech version is taught for twenty weeks in parallel with a standard electricity textbook course. There is a student book, about 110 pages long, to guide them through one experiment each week, intended to require about three hours of work, but sometimes needing more. The experiment subject matter parallels the textbook. The experiments begin very simply and grow in complexity and sophistication during the course. The introduction to the student book lists three goals, summarized as follows:

- Abstract electrical concepts will be made real.
- You will meet and become familiar with electrical technology.
- You will get experience in solving real world “messy” experimental problems. You will become designers, inventors, and doers.



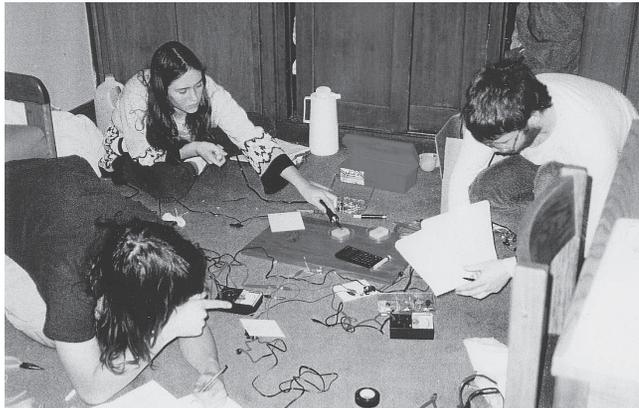
Figure 1. Contents of a student kit

The course begins with a distribution of kits to the students, which contain all the tools and parts needed for the 20 weeks of work, in a cardboard box about 30 x 40 x 16 cm. Figure 1 shows the contents

laid out. An analog meter is used purposely, to provide experience with reading and interpolating from scales and because it is electromechanically understandable. The small parts are in the plastic box. Power is supplied from a 12 volt a.c. plug-in transformer, eliminating any shock hazard, and circuits are built on a perforated circuit board about 12 cm square. Connections are usually soldered, and the use of clip leads is minimized. The guide book leads the students through the experiments, but not in full detail. It contains background theory when appropriate.

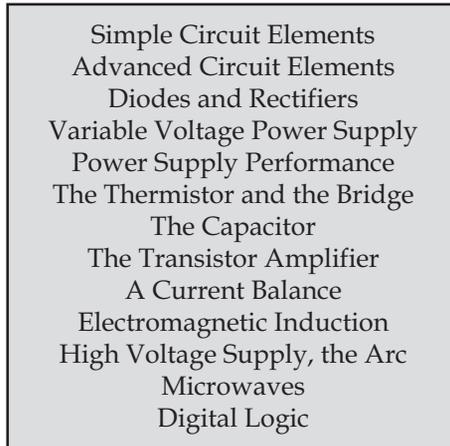
Parts purchasing and kit assembly are done before the course begins by graduate student assistants. Support for the students' experimentation comes from three sources in addition to the guidebook: 1) They work independently but next to a partner, for discussion and for occasional help from extra hands. 2) There is a "help lab" each week in the evening before the student notebooks are collected for grading, staffed by faculty and grad students. Circuits that don't work are diagnosed and trouble-shot. 3) There is class time each week for preview comments and discussion of experimental results. In addition, since Caltech is a residential campus, there are upperclass students near at hand who have done the experiments and can provide advice. About half the freshmen do the labs, and the other half are in a different, more mathematical, course.

Figure 2 shows a typical student group at work in a dormitory room.



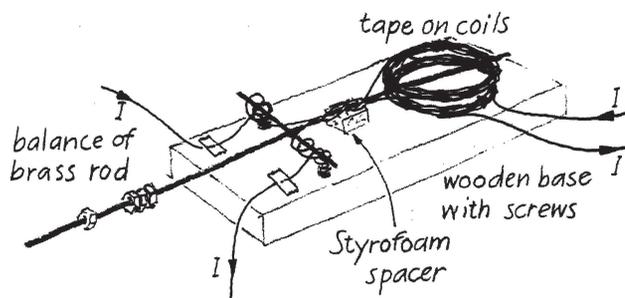
2. The Experiments

There are thirteen experiments, listed below:



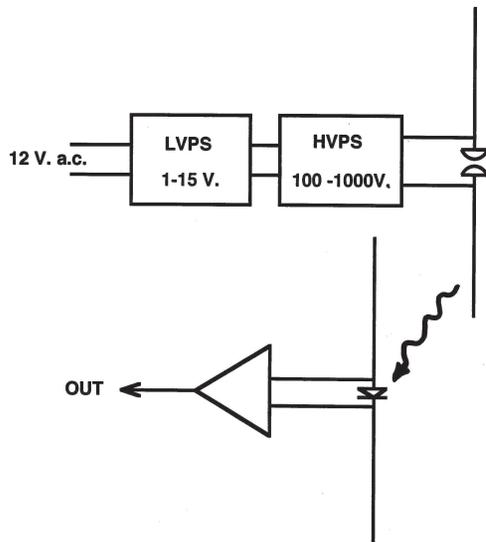
Here are the highlights: The first three get the students used to using the meter and they study the properties of ohmic and non-ohmic circuit elements. Then they make a variable voltage power supply and study how well it regulates. They use a bridge to calibrate a thermistor and determine its heat capacity. They measure the stored energy in a capacitor by discharging it through their thermistor. The transistor amplifier experiment is a quiz to be done alone, to evaluate how well they can construct a circuit and do an investigation without a partner. They do well, and they determine the current gain of a junction transistor. That is the end of the first half of the course.

The remaining experiments are allotted two weeks each to complete, and are more demanding. The current balance is the classic measure of the force between parallel currents done with



two parallel multi-turn coils and a very sensitive balance they make out of simple parts. The picture below shows a schematic view of it. The torque generated by nuts on the left end of the support bar balances the force between the coils. This adds a bit of mechanical engineering to the work.

The induction experiment measures the a.c. coupling between the two coils used in the preceding experiment, and uses an opamp to amplify the induced voltage. They then build a high voltage power supply based on a 250 khz r.f. oscillator, which produces more than 1000 volts at a safe high impedance. They study an arc between two closely spaced electrodes, and the then use it to generate microwaves. It is coupled to a dipole antenna and the radiation is received by a matched one and detected with the help of their opamp and meter. The sketch below shows this investigation diagrammatically, and Figure 3 shows a picture of the apparatus, minus a pie plate reflector used behind the transmitting antenna.



Referring to the picture, the main products of all twenty weeks of work are on the small circuit board. The variable d.c. power supply is in the upper right corner, and the a.c. input and fuse at top right are removed. The big doorknob transistor powers the oscillator, and its transformer uses a 5 mH inductor as the secondary, seen to its left. There is a filter to generate d.c. from a voltage doubler rectifier circuit. The high voltage is connected to two tacks between the jaws of a clothespin, which provides a micrometer adjustment of the transmitter arc length. The spark is pulsating because it is driven by an RC relaxation oscillation.

The black coax allows the receiving dipole to be moved around the transmitter to study the radiated field. A high frequency diode is across its arms. The rectified signal is amplified by an opamp circuit at the top center and read out on the d.c. multimeter. The students study the radiation pattern of the transmitting dipole in three dimensions. A final quiz experiment to be done alone follows, in which the students study CMOS transistor logic circuits. Like the other quiz, it is a new piece of learning.

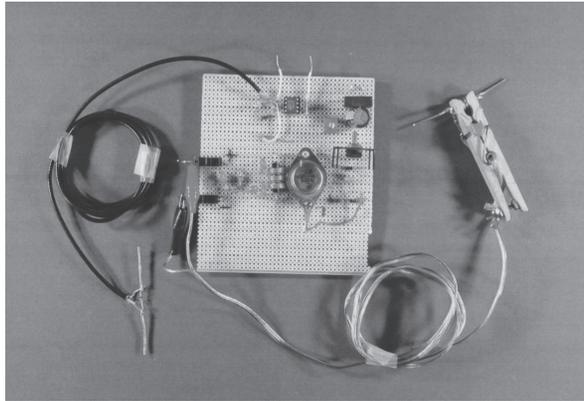


Fig. 3 Microwave transmitter and receiver

3. Conclusion

Is experimental experience needed for learning about electricity? Or anything else, for that matter. Clearly, the answer is yes. Is ZAP! better than conventional “canned” labs. Clearly, our assessment quizzes would be far beyond the abilities of the students from that sort of experience. But do our students learn more electrical concepts better? We have no controlled experiments. Like most higher education decisions, faculty opinion is what we have. Five successive Caltech faculty members have volunteered to run ZAP, over 15 years. It is not a simple task, so they believed in it. Others in engineering also do. Our students continue on a campus rich in opportunities for work in labs, and they will obviously be better at the arts of trouble shooting, improvisation, and working with a partner. Though some students balk at the start, most finish ZAP! with satisfaction and a feeling of accomplishment.

Implementing ZAP! elsewhere has been done, at Harvard, where faculty interest waned and it died, and at Ecole des Mines in Nantes, where it became a key part of the curriculum. Nantes illustrates how our version was a foundation for an individualized adaptation matched to their

goals and curriculum. Like Caltech, the Nantes campus is residential, which has important advantages. It makes the help lab convenient for all and provides opportunities for advice when needed from nearby upper class students.

We will be glad to consult with anyone who is interested in adapting the course. We can also supply kits and student books at cost (around \$100). Please contact Jerry Pine at jjpmail@capsi.caltech.edu.

4. References

- Germinet (1997) R. Germinet, *L'ingenieur ingénieur*, Editions Odile Jacob, Paris, 1997.
- King (1992) J. King, P. Morrison, and J. Pine, "ZAP! Freshman electricity and magnetism using desktop experiments: A progress report," *American Journal Physics*, vol. 60, p 973, 1992.

Laboratorios de bajo costo

*Por: Nicanor Quijano, Universidad de los Andes, Colombia;
Jorge Finke y Kevin Passino, Ohio State University*

1. Introduction

One of the major challenges in engineering education is the development of academic laboratory facilities that enable students to study and solve challenging real world problems. In electrical engineering, and in particular in the area of control systems theory, engineering students must be able to translate feedback design methods taught in lectures into new unexplored practical settings; laboratory facilities clearly play a major role in how students learn and refine these “hands-on” empirical skills [11, 15]. While laboratory practice has influenced formal engineering education for decades, today’s state-of-the-art laboratories are noticeably different from those praised and emulated just a few years ago, partly due to the evolving nature of the theoretical challenges in the control community, along with the ongoing advances in technology which determine the tools we use to conduct research (e.g., increasingly powerful simulation programs, Internet access, etc.) [15]. Not surprisingly, there has been an active commitment to innovation in academic [10, 12, 13, 17, 26, 34], and distance learning laboratories [9, 27, 31, 32]. The overall focus has been on trying to overcome the particular difficulties posed when translating new theories into modern affordable laboratory experiments.

Fortunately, recent technological advancements have resulted in the availability of some relatively low cost software and hardware which can be used to support control systems education. For example, in [14] the authors describe the design of a low cost speed control system, which allows students to implement fundamental theoretical concepts on practical problems. More sophisticated low cost LEGO-based experiments (assembled with LEGO Mindstorms kits) are described in [16, 18]. While the authors of [16] focus their experiments in the field of continuous-time control systems (rather than the classical discrete time

approach), the authors of [18] emphasize concepts in signal and embedded processing. Both of these experiments are relatively inexpensive (e.g., the three complete experimental setups in [18] can be purchased for \$500-600), and not only suitable for teaching but for research as well. Additional low cost laboratory developments in control systems can be found in [22, 23, 35, 20, 21, 30], demonstrating that there has been an honest effort and clear progress towards developing more affordable laboratory facilities.

In this chapter we propose a project for educating engineers via low cost laboratory development. The goal of this project is twofold. First, we want to conduct a collaborative multi-university program for low cost laboratory development for higher education in control systems engineering. Development projects are conducted primarily at single universities by individuals or groups of undergraduates or graduate students, and shared with all universities. It is hoped that before release, the laboratory projects are tested in an educational setting, and all materials, including detailed schematics, suppliers, costs, operational details, laboratory exercises and procedures, supporting educational materials, etc., be provided by development teams (i.e., all materials that are useful to replicate the proposed low cost experiments). We envision that new laboratories will build on older ones, and will change based on advances in technology. Experiments that can serve both undergraduate and graduate programs are highly desirable. More importantly, a strong emphasis is given to very low cost designs (e.g., less than USD \$150 per plant), but ones that do not sacrifice educational goals. To jump-start this initiative, we present in this chapter three low-cost experiments which have been developed at the Department of Electrical and Computer Engineering (ECE) at The Ohio State University (OSU), Columbus, OH. These experiments are used in a course at OSU (ECE758 [4]) to help undergraduate and graduate students understand novel theoretical concepts in distributed control systems which are difficult to illustrate otherwise.

The second goal of the proposed project is to provide a service learning experience to PhD students. Generally, PhD-level educational programs lack encouragement to strengthen broader non-technical educational aspects such as: (i) communication skills, both written and oral, and

effective teaching strategies; (ii) learning how to develop classroom-based courses/curricula; (iii) learning how to develop experiments and laboratories to compliment classroom-based treatments of theory; (iv) team work and project management; (v) learning how the university system and sources of recruitment for future graduate students work; and (vi) understanding cross-cultural challenges and world-wide development of higher education in engineering. Here, we show how engagement in low cost laboratory development helps PhD students solidify these valuable attributes.

The remainder of this document proceeds as follows. In Section 2, we describe different low cost experiments that were developed at OSU so students can use them in laboratory courses and to conduct research. Then, in Section 3, we suggest some ideas on how to educate PhD students in academic careers based on the development of low cost laboratories. Finally, we summarize and suggest some extensions and ideas for future projects that seem highly promising.

2. Inexpensive Control Labs

Over the last two decades, there have been ubiquitous developments in information technology (IT). While industry has been able to exploit these ongoing technological advances, universities have shown a lag in terms of developing curricula that suit them. Today, two research and educational forces trying to close this gap in IT usage are cooperative robotics and wireless sensor networks. The first area seeks to understand how a group of ground, underwater, or flying vehicles are able to coordinate their actions effectively. Many universities have developed courses that fit this line of research (e.g., see [6], [2]), and implemented experimental testbeds where vehicles with onboard microcontrollers and some type of communication network try to accomplish a common global objective, but in a distributed fashion. The latter area has also had much recent advancement, in particular over the last five years. One of the leading academic laboratories in this area is at the Univ. of California Berkeley, where matchbox-sized devices outfitted with wireless radios and sensors (called “motes” [3]) are used to study distributed networked control and estimation problems (e.g., tracking of an evader moving through a field of sensors).

The development of laboratory experiments to study distributed networked control systems re-mains expensive (e.g., the Cricket Developer's kit of motes costs approx. \$2000). Here, we present an alternative approach to provide laboratory experience for distributed systems at low cost. Although they share some similarities, the problems we describe below are different from those studied in cooperative robotics and wireless sensor networks. In particular, here we focus on open challenges from IT-enabled feedback control such as dynamic resource allocation, feedback scheduling of tasks, decision-making over networks, and nontraditional control objectives [25]. The experiments that we introduce to study these challenges are the following:

1. *Balls-in-Tubes Experiment*: Four balls are levitated to a common maximally elevated position by dynamically allocating air flow to four tubes that hold the balls. In one approach, only one air pulse can be applied at a time and to succeed, the control system "juggles" the balls. The juggling is especially challenging due to significant ball-height sensor noise, air turbulence, ball-to-ball coupling via a common air source, actuator bandwidth limits, and the need for distributed decision making over a network.
2. *Electromechanical Arcade*: Two agents must cooperatively fire laser guns at photocell targets in order to maximize the team's point gain within a finite time period. Feedback scheduling is needed due to the unpredictable appearance and disappearance of targets. Distributed scheduling over a network makes coordination particularly challenging.
3. *Planar Temperature Grid*: The experiment has a regular planar grid of 16 zones, each of which has a temperature sensor, heater, and controller interface. The goal is to allocate a limited amount of available electrical current to the heaters in order to maximally elevate the temperatures of all the zones to a common value. The dynamic allocation is complicated by interzone coupling, ambient temperature influences, and wind currents. Moreover, the presence of the communication network between zones, with possible topological constraints on information flow, necessitates the use of distributed decision making.

The first two of these experiments were originally proposed by the authors as a senior project in the Winter Quarter 2002, and the last one

was part of the first author's master thesis. While all these experiments are described in detailed in [29] (where actual photos and experimental results can be found), we will briefly overview their basic construction and contribution to the development of low cost laboratories. Our objective is to highlight how low cost laboratories can still present interesting experimental and research challenges.

2.1 The Balls-in-Tubes Experiment

The balls-in-tubes experiment was designed to be an inexpensive testbed for dynamic resource allocation strategies that must exploit feedback information from the plant in order to succeed. Figure 1 shows a layout of the balls-in-tubes experiment. There are four modules, each of which has a tube that holds a ball inside, a fan at the bottom to lift the ball, and a sensor at the top to sense the ball's height. For each tube, there is a box that the fan pressurizes. We can think of this box as a stiff balloon that is "blown up" by the fan, but which has an outlet hole used to blow air into the tube. The tubes are connected at the fan inlets via an input manifold which has an inlet at the bottom as indicated. There is an output manifold at the top of the tubes with an outlet as shown.

The presence of the manifolds is a key part of the experiment. The manifolds force the sharing of air at the input or restrict air flow at the output; both cause significant coupling between the four tubes. Characteristics of the coupling can be adjusted by, for instance, making both the inlet and outlet have different opening sizes. Alternatively, solid objects can be placed inside the input or output manifolds to obstruct air flow. Air flow characteristics are quite complicated due to air turbulence in the manifolds, pressurized box, and tubes. For a range of input manifold inlet sizes, a fan only succeeds at lifting the ball at the expense of other balls dropping. This feature leads to the need for what is called "resource allocation" [19], where here the resource is the air that elevates the balls. The input manifold implements what is sometimes called a "multivariable saturation constraint." There is, under some conditions, a fixed total amount of air coming from the input manifold that can be allocated, and if significant amounts are allocated to some tubes, the fans for the other tubes experience a limitation in what they can allocate.

Beyond the obvious isolated balancing of a single ball in a tube, there are a number of control objectives and challenges that can be studied for this experiment:

1. Balancing the balls inside the tubes, trying to allocate air flow to keep all the balls at fixed positions or alternatively, at a uniform height but maximally elevated.
2. Balancing and reallocation dynamics in the presence of plant changes due to manifold inlet size changes, or flow obstructions in a manifold.
3. Effects of using distributed networked decision making in the presence of an imperfect communication network can be studied.

The total cost of the plant is less than \$50 per module for a total of at most \$200. If the modules are designed to be easily separated, each could be used at a laboratory station to study the control of ball height in a single tube.

2.2 The Electromechanical Arcade Experiment

The electromechanical arcade experiment was designed to be an inexpensive testbed for distributed networked scheduling strategies where feedback information must be used in order to succeed. This experiment is composed of two main components: guns mounted on the shafts of motors, and targets (see Figure 2). Each gun has a laser and a photodetector. To fire a gun, the gun's laser is turned on by a computer. There are a total of eight targets, which are the boxes arranged in an arc. Each target has a single photodetector and two lasers mounted on top, with a laser pointed at each gun. We represent the appearance and disappearance of targets by whether the target's two lasers are

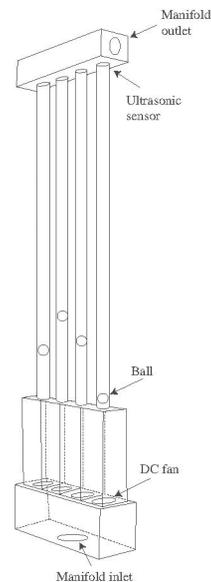


Figure 1: Balls-in-tubes experiment. Each tube has a direct current (DC) fan, a ball, and an ultrasonic sensor. At the bottom, there is an input manifold inlet, and at the top there is an output manifold outlet. These manifolds force the sharing of air at the input, or restrict air flow at the output.

simultaneously on or off. When a target appears, we consider it to have “popped up.” When a target pops up, a gun can sense its appearance by detecting the target’s laser, but only if the gun is pointed directly at that target by its motor. A gun cannot detect the appearance of more than one target at a time. If a gun fires at a target that is currently popped up, it will get a point for hitting the target, if the gun’s laser successfully triggers the photodetector on the target. However, the targets also disappear and if fired upon at that time, the gun gets no points. The appearance frequencies of the eight targets are independent of each other. Target lasers are driven by simple timing circuits that can be adjusted by hand to provide different frequencies.

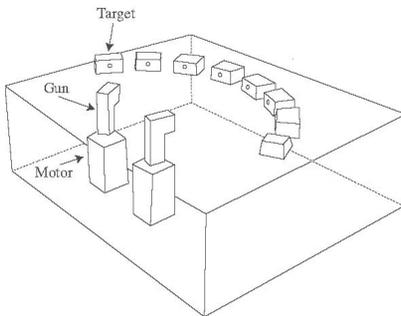


Figure 2: Electromechanical arcade experiment. The experiment has two guns and eight targets. Guns can detect targets by sensing lasers on the targets. Guns get points by firing their lasers at targets when the targets appear. Each gun is mounted on a motor that is under computer control so that the gun can be pointed at different targets.

The two guns are mounted on the shafts of motors that are each driven by an amplifier. Each of these motors has a quadrature encoder that provides the angular position of the motor. We limit the angular velocity of each motor shaft to make the problem more challenging, and make it possible to easily view the firing of guns at targets. We use a PID controller to point each gun to the target that needs to be shot, and these PID control system loops are tuned so that their performance does not impact our scheduling strategies.

The experiment is relatively inexpensive to construct. The greatest expenses are likely to come from the motors and their amplifiers (e.g., one of the motors plus the amplifiers used cost approx. USD\$400). However, less expensive motors could be used, since their specifications are not too demanding (high torques are not needed, and relatively low speeds of shaft rotation are desirable so that you can watch the arcade operate). Required gun pointing accuracy is driven by the laser’s light dispersal pattern and the size of the photodetector. As long as you keep the targets close to

the guns, for typical photodetector sizes highly accurate pointing is not needed. The lasers, photodetectors, and supporting electronics are relatively inexpensive, too (less than USD\$250). In fact, the target appearance timing circuits could be eliminated if there are enough digital outputs on your data acquisition board. Computer control of the target appearances would provide a more flexible way to control the pattern of appearances. However, it has a potential disadvantage of not providing for a tangible instructor-induced change to the appearance rates via adjustments to, for instance, potentiometers on the timing circuits during the operation of the experiment. All lasers located at the targets point to a gun photodetector and if one gun is pointing to a target when it appears, this gun can “shoot” at that target, by turning its laser on which triggers the corresponding photodetector of the target. When the photodetector of a target is triggered, the gun considers that specific target to be “hit,” gets a point for hitting the target, and then will pursue another target. The sequence of firings is specified by a real-time scheduling strategy. The analogy with arcade games should be clear.

We assume that the guns do not know any information about the rates of appearance of the targets, but strategies could be invented for estimating appearance sequences. The guns do know a priori the position of all targets, and the guns can communicate about their decisions to process or pursue targets. The challenges for this experiment are as follows:

1. To schedule in real-time a sequence of firings that maximizes the number of points the team of two guns obtains. Since target detection and shooting requires movement of the guns, a good schedule will typically minimize the motion of the guns, and at the same time maximize point gain. Feedback is required to overcome, for instance, uncertainty about when targets appear, or to develop target appearance time estimation strategies. Open-loop precomputed schedules will not be effective if the time allotted to the game is long enough.
2. To cooperatively schedule the shooting of the guns in the presence of an imperfect communication network that allows communication between the two guns. While the network could be the internet and a computer could be dedicated to each gun, networked schedulers

can also be simulated within one computer. Communication imperfections such as random but bounded delays, bandwidth constraints, or message misordering could be considered.

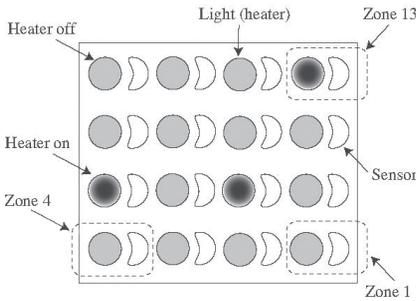


Figure 3: Multizone temperature control experiment. The experiment has 16 individually controlled zones, each with a light for a heater and an analog temperature sensor.

Finally, note that this distributed feedback scheduling problem can be thought of as a type of resource allocation strategy, analogous to how we thought of the juggler, but clearly the dynamics, uncertainty sources, and performance objectives are quite different. Moreover, the resource here is the time dedicated to a target so that allocation is temporal rather than spatial.

2.3 The Multizone Temperature Control Experiment

Temperature control experiments are the least expensive experiments we can build that still possess interesting distributed networked control problems. Here, we briefly describe a two-dimensional planar grid of sensors and heaters. This experiment presents both traditional multivariable tracking objectives, and objectives found in dynamic resource allocation problems. The multizone temperature control experiment has 16 individually controlled zones arranged in a regular planar grid as shown in Figure 3. Each of the zones has a light for a heater and an analog temperature sensor. Ambient temperature variations and wind currents have a significant impact. Since the physical layout of the experiment has the lamp in one zone very close to other zone's sensors, there is also significant inter-zone temperature coupling, which manifests itself in self-induced wind currents generated by heater-induced spatial temperature gradients.

The simplicity and low cost make it possible to require the students to construct the experiment themselves. Clearly, such an inexpensive plant could be used in a prerequisite undergraduate course.

The main challenges this experiment presents are:

1. Try to regulate temperature to be uniform across the grid, but with some fixed maximally elevated value. Alternatively, we could seek some fixed or dynamic two-dimensional pattern of temperature values.
2. Try to make one set of zones track the average temperature in another zone, or try to track a reference temperature value.
3. Distributed control with different controllers for each zone and a communication network with random but bounded delays for neighbor-zone sensed information, and delayed control inputs.

These challenges are difficult to meet due to many kinds of disturbances such as ambient temperature, wind currents, and inter-zone effects. Moreover, communication network imperfections present challenges in developing distributed controllers. The cost of this experiment is less than \$15 per zone. Supporting electronics include drivers for the lamps that are relatively inexpensive.

Next, we describe how these experiments were introduced in a course called Control Systems Implementation Laboratory (ECE758) at OSU. ECE758 is a 10-week elective course that provides undergraduate and graduate students with laboratory experience in linear, nonlinear, robust, and distributed control systems [4].

2.4 Embedding Low Cost Experiments into Academic Curricula

After ECE758 students design and analyze the experiment model (pre-labs are handed-in at the beginning of each lab session), they implement different feedback control techniques and develop appropriate real-time algorithms. During the first five weeks of the course, students initially learn how to properly use the data acquisition software (e.g., dSPACE and LabVIEW), and become familiar with introductory topics in control theory; in particular applying system identification, PID, and linear control schemes. They then move on and implement more advanced control techniques like LQR, observers, and nonlinear control schemes. In week 6, the students implement a smaller version of a multizone temperature controller in order to gain insight into the challenges highlighted above. During these six weeks of the course, the students work in small groups with members rotating on a weekly basis in order to promote teamwork and a dynamic interaction within the class.

The final four weeks of the course are intended for students to study a particular topic of interest in more depth. Over the last six years, several students have chosen to work on the low cost experiments presented in the previous sections, and implemented various advanced control techniques. For instance, a fuzzy controller was implemented for the balls-in-tubes experiment, followed by a cooperative controller which synchronized the oscillation of the balls in two tubes. Moreover, students implemented a bio-inspired control scheme (based on the prey model, a classical model from behavioral ecology [33]), using a smaller version of the multizone temperature control experiment (see [28] for details). Low cost experiments have not only been demonstrated to be well suited to illustrate fundamental control concepts (in our case, in distributed network feedback systems), they were surprisingly favored over traditional educational experiments (e.g., the inverted pendulum, the 2 DOF helicopter, the cube, and the coupled tanks [8]; hardly any experiments for distributed control are developed by Quanser, Feedback Instruments Limited or PendCon to date).

In summary, ECE758 students are able to design and implement a variety of control schemes, run experiments, and interpret experimental data, which together strengthens the student's ability to identify, formulate, and solve real world engineering problems. They are expected to provide a written report for all the experiments they complete, and give an oral presentation overviewing the results of their final projects. Combining these procedures with the teamwork experience they gain, ECE758 clearly embraces the academic program outcomes a) through g) and k) aspired by ABET [1]. Our own experience suggests that engineers can be educated via low cost experiments and without sacrificing educational goals. In addition, we describe next how the development of low cost laboratories itself helps graduate student develop attributes which enhance their opportunities in future careers.

3. Service Learning Project

As one might expect, PhD-level engineering graduates often seek employment in academics as faculty members, or in research groups in industry and government laboratories. Their technical expertise and know-how make a perfect match with the demands of such research-

oriented institutions. However, national-level studies have identified the need to educate these PhD students on broader, non-technical aspects, in particular to understand the value of good communication skills, team work, project management, economic and globalization issues, and cultural diversity. For instance, when PhD graduates pursue academic careers, they must show good communication skills that allow them to clearly express their ideas in order to develop effective teaching and research strategies. They must also know how to work with groups of students, develop syllabi, and academic laboratories. Needless to say, PhD students should start acquiring some of these skills as soon as they start their PhD program, but more often than not they are postponed for when graduates become faculty members (in part due to the tremendous pressure they face to master the technical content of their programs in the first place).

Here, we envision developing low cost laboratories as an opportunity for PhD students to enhance such non-technical attributes which are needed to pursue a successful academic career. It is with this in mind that OSU, with the support of a student organization called Engineers for Community Services (ECOS) [5], has developed a service learning program to help aspiring faculty members achieve their goals. The essential idea of the project is to have a professor lead a group of students to develop short courses with low cost laboratories for international institutions of higher education. Student tasks include development of the content of a course along with its laboratory experiments (e.g., pre-labs, lab manual, etc), and delivery of the experimental settings. Participating students are responsible for preparing their set of lectures notes and exercises and benefit from the experience by:

- Learning how to design a short course.
- Developing and implementing appropriate teaching strategies.
- Gaining experience in developing course material.
- Practicing how to lecture.
- Developing other valuable non-technical skills (e.g., enhancing their communication skills by interacting with people from different cultures).

Low cost laboratory development complements the associated lecture courses and furthermore benefits the target institutions by:

- Allowing local students to test fundamental theoretical concepts.
- Setting up local experiments at low cost.
- Proving experimental settings which are robust, easy to maintain and extend, so additional research can be conducted locally.
- Providing a guide of laboratory procedures (possibly field experiments) and related exercises.
- Motivating students to pursue graduate studies and life abroad.

The first two authors of this chapter were fortunate to have participated in the project as OSU graduate students first hand. The third author was the one who created the program and led the experience. In the summer of 2004, the three of us went to Colombia to give a couple of short courses in Cali, Medellín, and Bogotá. The courses taught were divided into two parts: (i) a lecture on biostrategies for optimization, control, and navigation (with examples illustrating distributed control schemes and stability concepts in multi-agent systems), and (ii) a cooperation effort to develop international educational laboratories in feedback control engineering. Our efforts triggered research developments by some of the attendees (e.g., Universidad del Valle, Cali, developed a testbed for multizone temperature control based on the one presented here, and is using it for their current research [24]). Moreover, one of the attendees became a master's student under the supervision of the first author, and another one went to Germany to pursue his PhD studies there, suggest the strong impact that service learning programs can have on the development of the people in target countries.

The service learning program is intended to grow so that graduate students can choose a target country according to their interests and learn about its history, culture, and current state of development in higher education. For instance, in 2005 the second author gave a short course on cooperative control, and an overview of the laboratory development program at Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) in Tegucigalpa. He studied some of the cultural issues in Honduras, which helped broaden his view of higher education outside the United States. The main idea being that the broader perspective that can be gained in this program helps future faculty members to understand potential advisees from all over the world. We

hope that PhD students that participate in this program will help undergraduate students at targeted institutions get admitted and succeed at top research institutions.

Ultimately, the goal of the service learning program is to establish long-term research collaborations of world-class researchers in developed countries with the best counterparts in less developed parts of the world. The benefits of such collaborations are mutual. Developed countries benefit from working with leading scientists from other countries in related problems and potentially reducing the costs of certain research projects. Less developed countries benefit from the service learning program because it enriches their local research opportunities and strengthens local institutions with up to date scientific knowledge and cutting edge research.

4. Conclusions

The purpose of low cost laboratory development is two fold: (i) to develop experiments which are inexpensive to construct, well suited to illustrate theoretical concepts, and interesting enough to conduct research; and (ii) to start a service learning program where PhD students are able to develop valuable non-technical skills necessary to pursue a successful academic career. In this chapter, we introduced three low-cost experiments which have been extensively used in education [4], as well as in research [29]. From an educational point of view, it is clear that universities in both developed and developing countries can benefit from low cost experimental settings. In the case of the Department of Electrical and Computer Engineering at The Ohio State University, the low cost experiments have helped students who want to study dynamic resource allocation, feedback scheduling of tasks, decision-making over networks, and nontraditional control objectives in control systems theory start their research. From a research point of view, low cost experiments have helped students in developing countries (e.g., Colombia and Honduras) to enrich their research by illustrating the challenges of cutting edge research.

Every time a novel experiment is developed, we envision that all pertinent information to be made accessible to the widest possible

audience, i.e., via a wiki-site where all interested parties is able to upload their contributions [7]. As a result, experiment schematics, suppliers, costs, operational details, laboratory exercises and procedures, and supporting educational materials are available to anyone around the world. We view the proposed project to be a shared effort to spread knowledge, especially to those universities which do not have enough resources to afford a costly laboratory setting for control systems. In our experience, we captured the student's interest in low cost experiments through the senior projects which are generally required to get the B.S. in engineering at an ABET accredited institution. In particular, two of the three low cost experiments proposed here were originally developed in a senior project class (ECE682), and later extended by students who wanted to get more insight into non-conventional control techniques. The efforts of the students to design and implement low cost experiments resonate with the program outcomes of the ABET criteria (i.e., criterion 3, outcomes a) through g) and k)), enriching the educational experience of undergraduate and graduate students.

There are still challenges in developing low cost laboratories (e.g., a cheaper version of data acquisition cards and software packages are needed). Other classes of experiments in control systems (e.g., servomotors, coupled tanks, mobile robots) and experiments for other academic disciplines must be developed. Hopefully, if leading universities across the globe are willing to contribute to the effort of developing low cost experiments, common experimental platforms will encourage international research collaborations and promote educational exchange programs.

5. References

- [1] ABET: <http://www.abet.org/>
- [2] Carnegie Mellon Robotics Institute: <http://www.ri.cmu.edu/lablists/index.html>
- [3] Crossbow Wireless Sensor Networks: [http://www.xbow.com/Products/Wireless Sensor Networks.htm](http://www.xbow.com/Products/Wireless%20Sensor%20Networks.htm)
- [4] ECE 758: Control Systems Implementation Laboratory: <http://www.ece.osu.edu/~passi-no/ee758.html>.
- [5] Engineers for Community Service: <http://ecos.osu.edu/>

- [6] OSU Cooperative Control Laboratory: <http://www.ece.osu.edu/~umit/ee757.htm>.
- [7] OSU Distributed Dynamical Systems experiments Laboratory: For more information on the experiments described in this article, including videos of their operation, see <http://www.ece.osu.edu/~passino/distdynamicsyslab.html>.
- [8] Quanser Inc: <http://www.quanser.com/>
- [9] B. Aktan, C.A. Bohus, L.A. Crowl, and M.H. Shor. Distance learning applied to control engineering laboratories. *IEEE Transactions on Education*, 39(3):320–326, 1996.
- [10] A.G. Alleyne, D.J. Block, S.P. Meyn, W.R. Perkins, and M.W. Spong. An interdisciplinary, interdepartmental control systems laboratory. *IEEE Control Systems Magazine*, 25(1):50–55, 2005.
- [11] J. Apkarian and K.J. Astrom. A laptop servo for control education. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):70–73, 2004.
- [12] H. Ashrafiuon and D.S. Bernstein. Innovations in undergraduate education. II. *IEEE Control Systems Magazine*, 25(1):21–22, 2005.
- [13] D.S. Bernstein and H. Ashrafiuon. Innovations in undergraduate control education. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):18–18, 2004.
- [14] S. Bex, S. Doclo, G. Ysebaert, G. Gielen, W. Dehaene, H. De Man, and B. De Moor. The PeopleMover educational project. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):83–87, 2004.
- [15] L.D. Feisel and A.J. Rosa. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94(1):121–130, 2005.
- [16] P.J. Gawthrop and E. McGookin. A LEGO-based control experiment. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):43–56, 2004.
- [17] J.T. Gravdahl and O. Egeland. New undergraduate courses in control. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):31–34, 2004.
- [18] B.S. Heck, N.S. Clements, and A.A. Ferri. A LEGO experiment for embedded control system design. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):61–64, 2004.
- [19] T. Ibaraki and N. Katoh. *Resource Allocation Problems: Algorithmic Approaches*. The MIT Press, Cambridge, MA, 1988.
- [20] J. Klein. How to develop a low-cost motor controller. *Potentials, IEEE*, 24(3):40–43, 2005.

- [21] A. Leva. A hands-on experimental laboratory for undergraduate courses in automatic control. *IEEE Transactions on Education*, 46(2):263–272, 2003.
- [22] K.H. Lundberg, K.A. Lilienkamp, and G. Marsden. Low-cost magnetic levitation project kits. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):65–69, 2004.
- [23] K. Mallalieu, R. Arieatas, and D. So' Brien. An inexpensive PC-based laboratory configuration for teaching electronic instrumentation. *IEEE Transactions on Education*, 37(1):91–96, 1994.
- [24] M.A. Munoz, J.A. Lopez, and E.F. Caicedo. Ant Colony Optimization for Dynamical Resource Allocation in a Multizone Temperature Experimentation Platform. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 5(2):81–86, 2007.
- [25] R. M. Murray. Future directions in control, dynamics and systems: Overview, grand challenges and new courses. *European Journal of Control*, 9(2):144–158, 2003.
- [26] R.M. Murray, S. Waydo, L.B. Cremean, and H. Mabuchi. A new approach to teaching feedback. *IEEE Control Systems Magazine*, 24(5):38–42, 2004.
- [27] J.W. Overstreet and A. Tzes. An Internet-based real-time control engineering laboratory. *IEEE Control Systems Magazine*, 19(5):19–34, 1999.
- [28] N. Quijano, B.W. Andrews, and K.M. Passino. Foraging theory for multizone temperature control. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4):18–27, 2006.
- [29] Nicanor Quijano, Alvaro E. Gil, and Kevin M. Passino. Experiments for dynamic resource allocation, scheduling, and control. *IEEE Control Systems Magazine*, 25:63–79, February 2005.
- [30] R.J. Ribando, L.G. Richards, and G.W. O'Leary. "Hands-On" Approach to Teaching Under-graduate Heat Transfer. N/A.
- [31] S.C. Sivakumar, W. Robertson, M. Artimy, and N. Aslam. A web-based remote interactive laboratory for Internetworking education. *IEEE Transactions on Education*, 48(4):586–598, 2005.
- [32] A. Spanias and V. Atti. Interactive online undergraduate laboratories using J-DSP. *IEEE Transactions on Education*, 48(4):735–749, 2005.

- [33] D.W. Stephens and J.R. Krebs. Foraging Theory. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1986.
- [34] R. van de Molengraft, M. Steinbuch, and B. de Kraker. Integrating experimentation into control courses. *IEEE Control Systems Magazine*, 25(1):40–44, 2005.
- [35] C. Vibet. Control teaching via low cost setups. *IEEE Transactions on Education*, 37(3):269–270, 1994.

La PIOLA y el desarrollo profesional docente con el apoyo de TIC

Por: Alvaro Galvis, Universidad estatal de Wiston Salem, EEUU

1. Presentación

Esta es LA PIOLA en su segunda versión, un instrumento que le permitirá al educador en ingeniería, tanto avezado como novato en uso de TIC –Tecnologías de Información y Comunicación– sacar mejor provecho de las oportunidades que brindan los computadores e Internet para su desarrollo profesional y apoyar el aprendizaje individual o grupal de sus alumnos. La PIOLA no hay que leerla en el orden en que está el acrónimo. Queda a criterio del lector aprovechar la versatilidad del modelo y, de acuerdo con sus prioridades, reorganizar el orden en que aprovecha los recursos que subyacen a las letras.

La primera versión de este escrito se hizo para un estudio sobre desarrollo profesional docente apoyado en uso de TIC (Galvis, 2006) en el que se propuso al Ministerio de Educación Nacional –MEN– de Colombia una estrategia de formación en servicio por fases que construye sobre las recomendaciones de ISTE (2002) y UNESCO (2004) acerca de formación de docentes en TIC. Esta segunda versión de la PIOLA actualiza el contenido original en lo que se refiere a TIC novedosas que se han perfilado en los últimos dos años, y deja a consideración del lector una gama amplia de oportunidades que dinámicamente se irán actualizando, pero que conceptualmente se mantendrán vigentes como artefactos que pueden ser usados dentro de una o más de las categorías de la PIOLA.

2. Las TIC en educación

Las Tecnologías de Información y Comunicación –TIC– han cambiado la manera de relacionarnos con otros y con el conocimiento, revolucionando muchos campos de la actividad humana. La presencia física ya no es una condición necesaria para estar en contacto con personas ni

con proveedores de información relevante para nuestra actividad personal o profesional, dado que haciendo uso de TIC podemos alcanzar, a precios razonables y con creciente eficacia, la interacción requerida. Por otra parte, los negocios no son los mismos desde que se usan computadores y redes digitales para agregar valor a los productos y servicios de las organizaciones, toda vez que los sistemas informáticos suelen crear diferencia para la atención a los clientes y en el manejo de recursos y procesos de una organización (Galvis, 1997).

Al igual que todos los sectores de la actividad humana, la educación tiene a su disposición múltiples oportunidades tecnológicas para apoyar el logro de su misión, pero infortunadamente es más lo que se aprovecha en uso de TIC para gestión de la educación que para enriquecer procesos educativos. Las TIC han permeado la gestión de instituciones educativas, de modo que los sistemas de información contables, financieros, de biblioteca y de registro de estudiantes son crecientemente efectivos, o que permite dar mejor servicio administrativo a los beneficiarios. Sin embargo, las TIC han penetrado en mucho menor escala las actividades sustantivas inherentes a la formación de estudiantes y a la constitución y consolidación de comunidades de aprendizaje, a pesar de las crecientes inversiones que hacen los ministerios y secretarías de educación, las asociaciones de padres de familias y múltiples organizaciones, para dotar de equipos y comunicaciones a instituciones educativas, a todos los niveles y en todos los sectores. Resuena el comentario de Seymour Papert (1996) en cuanto a que si alguien del siglo XIX se pudiera asomar a un aula de nuestra época, se podría sentir muy cómodo, toda vez que el ambiente de enseñanza en la mayoría de ellas sigue siendo como el que imperaba en su época: centrado en el profesor y usando TTL (Tiza, Tablero y Lengua). Por el contrario, si se asomara a otro entorno -por ejemplo un hospital- con seguridad no lo reconocería, pues la tecnología ha cambiado radicalmente los procesos sustantivos.

En educación tenemos muchas oportunidades para hacer reingeniería de procesos educativos con apoyo de tecnología. Sin embargo, cuando no nos tomamos el trabajo de repensar lo que hacemos con apoyo de las TIC a las que tenemos acceso, muy probablemente sigamos haciendo más de lo mismo, con mayores costos y los mismos o menores beneficios. Contar con equipos de computación y redes de comunicación en

instituciones educativas, por sí mismo, no hace la diferencia; ésta la marca lo que se hace con ellos, el valor que agrega el uso de las TIC a los procesos sustantivos de cada institución, dentro de lo que su misión le señala. Con informática cabe hacer más de lo mismo (simplemente apoyando viejas prácticas con recursos digitales) o repensar lo que se hace (rompiendo moldes y haciendo reingeniería de procesos) (Galvis, 1998a, 1998b).

3. La PIOLA: un acrónimo para entender las TIC en educación

El aprovechamiento de las TIC en educación tiene muchas aristas. Por supuesto que los equipos y las comunicaciones son una condición necesaria: sin ellos no hay caso. Pero sin educadores capaces de sacarles provecho y sin directivos dispuestos a apoyar la innovación y el rediseño de procesos educativos, difícilmente se podrá hacer algo. Si bien los niños y jóvenes de hoy son “nativos digitales”, es decir, nacieron y crecieron en la cultura de los medios digitales, no por eso podemos pensar que basta con darles a ellos acceso a equipos en sus instituciones educativas para que se produzca un cambio. Son bienvenidas todas las iniciativas que conducen a democratizar el acceso a las TIC en educación, pero no podemos engañarnos pensando que eso es suficiente. Hay miles de equipos en instituciones educativas que no han producido diferencia en términos de lo que sus estudiantes aprenden y son capaces de hacer, o de innovación en la forma de enseñar; afortunadamente también hay un creciente número de casos donde hay evidencias de mejoramiento en la retención y promoción estudiantil, en el desarrollo de actitudes positivas hacia el aprendizaje a partir de diversidad de medios y en el logro de competencias para vivir en el siglo XXI y para asumir distintos roles en la sociedad actual. La PIOLA no trata de estos casos, pero mencionaremos algunos para ilustrar algunas de las oportunidades de las TIC en educación. La PIOLA es una manera de entender las oportunidades de las TIC en educación, con miras a favorecer que haya distintas rutas por las que educadores y directivos transiten haya la integración de las TIC en procesos educativos repensados con apoyo de tecnología.

Las tecnologías de información incluyen todos aquellos dispositivos de los que nos podemos valer para tener acceso, procesar, almacenar o

difundir información en formato digital. Las *tecnologías de comunicación* son todos aquellos dispositivos de los que nos podemos valer para interactuar con otros seres humanos valiéndonos de medios digitales. Con esto en mente, queremos invitar al lector a analizar las siguientes cinco dimensiones para entender las TIC en educación, a las que mnemotécnicamente llamaremos **PIOLA**, pero cuyos elementos no conllevan un orden de precedencias para efectos de apropiar las TIC que subyacen a cada letra:

- P** TIC para mejorar la **Productividad** individual, simplificando actividades y ampliando nuestra capacidad personal.
- I** TIC para mediatizar la **Interacción** con otros individuos o con grupos, dialogando sincrónica o asincrónicamente en la red.
- O** TIC para explorar conjeturalmente **Objetos** de estudio, apoyando indagación, construcción y expresión de conocimiento.
- L** TIC para apoyar **Labores** educativas, como la preparación de clases y pruebas, y la creación y administración de ambientes de aprendizaje.
- A** TIC para ampliar nuestro **Acervo** cultural, científico y tecnológico, manteniéndonos actualizados en lo que nos interesa, a partir de consulta a fuentes directas.

4. P: TIC para mejorar la Productividad individual

Lo que ha hecho famosas las TIC en muchos de los dominios de la actividad humana es su capacidad de simplificar tareas rutinarias y, al mismo tiempo, ampliar el potencial de quienes las llevan a cabo. Esto se hace con herramientas informáticas de productividad, que son sistemas computacionales que pueden aplicarse en muchos dominios de la actividad humana. Dejaremos para la “L” de la PIOLA, las herramientas pensadas para simplificar y ampliar la labor propiamente educativa. A continuación reseñamos distintas herramientas de productividad que no se han pensado para educación, pero que tienen un buen uso potencial en actividades educativas.

4.1 Herramientas para apoyar comunicación basada en textos

Una de las mayores necesidades que tenemos educadores y educandos es la de podernos expresar debidamente por escrito y de hacer los reconocimientos de autoría que se requieren en citas y referencias. Este grupo de herramientas puede apoyar esta función.

Herramientas para mejorar la comunicación escrita

Una de las actividades básicas en gran cantidad de dominios es la *comunicación escrita*. En educación, ni se diga. ¿Recuerda el lector cuando escribíamos documentos a mano, la secretaria los pasaba a máquina, el autor los editaba –tratando de no pedir muchos cambios– y finalmente se publicaban, luego de varios meses y mucho esfuerzo? Esto quedó en el pasado desde que empezamos a hacer uso de procesadores de texto y otras herramientas asociadas como correctores ortográficos y manejadores de referencias y citas bibliográficas. Con ellos, quien escribe se puede concentrar en lo que quiere decir, en definir y generar el mensaje, estructurando cada documento por niveles y desarrollando cada componente como un todo.

La labor de edición se puede concentrar en la calidad del mensaje cuando se hace uso de herramientas para procesamiento de textos –como WORD de la suite *Office*²⁸ de Microsoft o WRITER de la suite gratuita *Open Office*²⁹ de Sun Microsystems.

Herramientas para aprender a digitar

Una mención especial merecen los *sistemas para aprender a digitar*. Saber usar los diez dedos de la mano para digitar bien y casi sin mirar el teclado, hace una gran diferencia en la categoría P, toda vez que habilita nuestras manos para sintonizar lo que pensamos con lo que escribimos a través del teclado.

Hay herramientas en la red que ayudan a quienes desean mejorar su capacidad de digitación. Por ejemplo, TACA

²⁸ <http://www.microsoft.com/spain/Office/prodinfo.msp>

²⁹ <http://www.openoffice.es/>

TACA³⁰ es un programa para adultos, gratuito, hecho para que los usuarios aprendan a ejercitarse simultáneamente en manejo de teclado y de ratón. Por su parte, TUXTYPE³¹ ofrece una solución gratis para niños.

Herramientas para manejar citas y referencias bibliográficas

Muchos de los textos que elaboramos hilan ideas de muchas fuentes, y para citarlas y referenciarlas hay que seguir normas y convenciones de la disciplina en la que uno se desempeña.

La elaboración de citas y referencias es una labor dispendiosa que puede aliviarse mucho cuando se arma una base de datos con los recursos documentales que han sido consultados. Este tipo de sistemas permiten presentar las citas y las referencias bibliográficas en el estándar que uno requiera (p.ej., APA, ACM), además de que generan bases de datos bibliográficas que se convierten en recursos compartibles entre los miembros de la comunidad educativa en la que toman parte sus autores.

Sistemas manejadores de citas bibliográficas, como ENDNOTE³², se convierten en un aliado maravilloso para investigadores y autores, toda vez que permiten capturar, editar y recuperar las referencias, e incluirlas dentro de los documentos en el formato que se escoja.

4.2 Herramientas para apoyar procesamiento de datos

Otra de las necesidades sentidas por educadores y educandos es la de saber organizar, almacenar, recuperar, procesar numérica y visualmente, información de diversa índole, con análisis estadístico de la calidad de la información. Este grupo de herramientas puede ayudar a atender esta necesidad.

Herramientas para apoyar el cálculo y análisis de datos numéricos

El *cálculo y el análisis de datos numéricos* es otra actividad común en muchos campos. Gracias a las hojas de cálculo, el procesamiento de datos

³⁰ <http://www.hayqueverlo.com/taca-taca/Taca-taca.exe>

³¹ <http://internap.dl.sourceforge.net/sourceforge/tuxtype/Tuxtype2-1.5.3-installer.exe>

³² <http://www.endnote.com>

numéricos está centrado en organizarlos y en definir los cálculos que la hoja de cálculo electrónico debe hacer. Una vez que uno captura los datos, el programa hace posible su procesamiento, agrupación, ordenamiento, visualización de múltiples maneras. La gran ganancia está ligada a la posibilidad de apoyar el análisis de datos jugando con variables al “qué pasa si...”, analizando visual y numéricamente los patrones de datos.

Pensemos en lo que puede hacer un profesor cuando usa la hoja de cálculo para llevar las calificaciones de sus alumnos, agrupando y ordenando la información por diversos criterios, viendo los resultados graficados de una y otra manera; consideremos las posibilidades de tomar en cuenta diversos puntos de vista o variar el peso dado a ciertas variables, cuando se valoran los resultados de los estudiantes. También pensemos lo que pueden hacer los alumnos cuando analizan los resultados que obtienen al hacer seguimiento a un objeto de estudio y no se limitan a tabularlos sino que también derivan conocimiento mediante el procesamiento de datos numéricos. ¡¡¡Se simplifica el cálculo y se amplifica el análisis!!!

Aplicaciones como EXCEL de la suite *Office* de Microsoft o CALC de la suite *Open Office* de Sun Microsystems permiten simplificar el cálculo y amplificar el análisis de datos numéricos.

Herramientas para administrar bases de datos

El procesamiento de datos que están disponibles en repositorios organizados de datos digitales (a lo que se suele llamar una “base de datos”), hace posible generar información agregada, con distintas “vistas” (contenido y nivel de detalle) definidas según las necesidades de los distintos tipos de usuarios, sea consultando el total de registros disponibles o segmentos de la base de datos, a partir de búsquedas. No se trata simplemente de aliviar el trabajo de almacenar, organizar y buscar información en forma eficiente; estas herramientas también permiten generar nuevo conocimiento (mediante cruces, agregados, vistas) que sin tecnología sería muy difícil de obtener.

Herramientas como ACCESS de la suite *Office* de Microsoft, BASE de la suite *Open Office* de Sun Microsystems suelen

ser muy amigables y poderosas, permiten que usuarios con competencias para manejo de información diseñen, creen, administren y aprovechen colecciones organizadas de información digital.

Herramientas para hacer análisis estadístico de datos

Muchas bases de datos contienen información muy valiosa. Sin embargo, más allá de los datos, a veces es necesario hallar tendencias o probar hipótesis sobre relaciones causa-efecto, controlando por diversos criterios.

Los paquetes para procesamiento estadístico de datos, como por ejemplo SPSS³³ Statistical Package for the Social Sciences o SAS³⁴ Statistical Analysis System, hacen posible este tipo de análisis, dando control a quien maneja la herramienta sobre el tipo de agregaciones, cruces, pruebas estadísticas, etc., con las que se resuelven los interrogantes que orientan una investigación cuantitativa.

4.3 Herramientas para apoyar la expresión gráfica

La comunicación oral y escrita se apoya grandemente en visualizaciones de lo que queremos decir. Este grupo de herramientas puede ayudar a que mejoremos nuestra productividad creando o editando imágenes, así como presentaciones que integran variedad de medios.

Herramientas para procesamiento gráfico

La *expresión gráfica* es otra actividad donde las herramientas informáticas de productividad pueden agregar mucho valor en diversos campos. La creación, captura y edición de imágenes que ayuden a expresar lo que decimos o sentimos se puede hacer con relativa facilidad cuando se sabe usar los procesadores gráficos apropiados.

Dice el adagio que una imagen vale más que mil palabras. Quienes han optado por usar herramientas de expresión gráfica como apoyo a su

³³ <http://www.spss.com/la/>

³⁴ <http://www.sas.com/technologies/analytics/statistics/index.html>

labor, seguramente sienten un alivio al poder trabajar sobre “borradores en limpio” cada vez que procesan una imagen, pues la editan para darle el “toque” que amerita la ocasión sin que esto signifique un esfuerzo mayúsculo.

Esto no es lo único que hacen posible los sistemas para expresión gráfica. Crear con ellos es tan apasionante como con otros medios artísticos que uno domine. Es posible ir más allá de lo que es viable sin tecnología como, por ejemplo, presentar la misma obra al tenor de diferentes escuelas artísticas, o trabajar a distintos niveles de detalle y con múltiples herramientas sin tener que cambiar de entorno creativo, lo que da nuevas posibilidades al artista.

Aplicaciones como PAINT³⁵ de Microsoft, así como FIREWORKS³⁶ desarrollado por Macromedia y de propiedad ahora de Adobe, son muy famosas por la capacidad que tienen de potenciar expresión gráfica en sus usuarios, así como por la posibilidad que ofrecen de hacer procesamiento gráfico de imágenes digitales.

A nivel de herramientas para niños cabe destacar KIDPIX³⁷, una aplicación intuitiva y poderosa desarrollada por Broderbund Software y comercializada por The Learning Company.

Herramientas para hacer presentaciones multimedia

La *creación de presentaciones multimedia* también se ve beneficiada con las herramientas informáticas de productividad. Sistemas para crear presentaciones que hacen las veces de los antiguos acetatos pero integran imágenes, sonido y video, así como enlaces a sitios en la red, hacen posible presentar y divulgar información multimedia que antes costaba mucho tener a punto. Quienes tuvieron oportunidad de preparar en acetato, o en diapositivas con sonido, materiales para sus clases o conferencias, han notado la diferencia en esfuerzo y calidad de lo que se logra. Más allá de esto, se pueden centrar en lo que desean expresar y en su contenido, no sólo en la forma.

³⁵ <http://www.monografias.com/trabajos11/paint/paint.shtml>

³⁶ <http://www.adobe.com/es/products/fireworks/>

³⁷ <http://www.learningcompany.com/jump.jsp?itemType=PRODUCT&itemID=588>

Herramientas como POWER POINT de la suite *Office* de Microsoft y como IMPRESS de la suite *Open Office* de Sun Microsystems, IWORK de Apple han servido para dar a quienes la usan poder para hacer presentaciones multimedia, con bastante sencillez.

4.4 Herramientas para procesamiento de datos multimedia

Muchas veces tenemos registros fílmicos con video y sonido, o grabaciones de audio, que queremos usar en nuestra actividad educativa. Este grupo de herramientas puede apoyarnos eficazmente en este proceso.

Herramientas para procesamiento de video y sonido digital

La edición de video y de sonido dejó de ser dominio de especialistas en audiovisuales. Hoy en día es posible que aficionados a estas artes hagan procesamiento digital de video o audio-cintas, incluyendo textos para ambientar o para dar crédito a quienes han aportado, efectos y cortinas visuales o sonoras, silencios, así como textos que visualizan el sonido (“subtítulos”), o múltiples pistas de audio (por idioma o con el sonido original y con comentarios).

Herramientas como LAS VEGAS MOVIE STUDIO³⁸ de Sony, o QUICKTIME PROFESSIONAL³⁹ de Apple hacen posible que educadores y estudiantes editen los audios o videos digitales que elaboran. Herramientas como CAMTASIA STUDIO⁴⁰ permiten crear videos a partir de lo que hay en pantalla en el computador y también editar videos ya existentes. Todas estas herramientas dan posibilidad de generar archivos en más de un formato.

Herramientas para elaborar portafolios digitales

En una era en la que muchos aprendizajes se dan a partir de la experiencia y la reflexión sobre ella, la elaboración de portafolios digitales

³⁸ <http://www.sonycreativesoftware.com/products/product.asp?PID=446&language=4>

³⁹ <http://www.apple.com/es/quicktime/download/>

⁴⁰ <http://www.techsmith.com/camtasia.asp>

se ve altamente beneficiada por el aumento de la capacidad de expresión audiovisual que logran quienes se atreven y aprenden a usar editores de imágenes y sonido, así como por la capacidad de herramientas integradoras de múltiples medios en formato secuencial.

Aplicaciones de acceso abierto como EFOLIO⁴¹, EPORTFOLIO⁴² o ZPORTAFOLIO⁴³ hacen posible que estudiantes y docentes lleven registro digital y presenten en forma integrada las evidencias de los procesos y productos que llevan a cabo en sus labores de aprendizaje o de enseñanza. También cabe crear documentos multimedia que incluyen reflexiones textuales y anotaciones sobre episodios de video, con herramientas gratuitas como VIDEO PAPER BUILDER 3⁴⁴. Este software, que corre tanto en plataformas Windows como en OS, es una ayuda valiosa para quienes desean construir videocasos (casos centrados en el análisis de video episodios) o videopapers (escritos que reflexionan sobre video episodios).

4.5 Herramientas para compartir en la red nuestra producción

Muchas personas tienen sus propias páginas web, haciendo uso de un servidor público o del de su propia organización. Esto se hace valiéndose de lenguajes de autoría de páginas web, también conocidos como lenguajes de hipertextos, como el HTML (Lenguaje de etiquetas de hipertexto), en los que uno codifica lo que quiere que la máquina muestre y la funcionalidad deseada en cada una de las páginas, dependiendo de las opciones que escoja el usuario.

Sistemas de autoría de hipertextos como DREAM-WEAVER⁴⁵ de Macromedia / Adobe, o FRONTPAGE⁴⁶ de Microsoft, minimizan el esfuerzo requerido para producir textos que están escritos en HTML (lenguaje de hipertextos). En algunos sistemas administradores de páginas web se obvia el conocimiento de HTML mediante el uso de interfaces

⁴¹ <http://www.efoliominnnesota.com/>

⁴² <http://www.eportfolio.org/>

⁴³ <http://www.zunal.com/portfolio.php>

⁴⁴ <http://vpb.concord.org/espanol>

⁴⁵ <http://www.adobe.com/es/products/dreamweaver/>

⁴⁶ <http://www.microsoft.com/latam/office/frontpage/prodinfo/default.msp>

WYSIWYG – What You See is What You Get – que generan código HTML que uno puede editar si lo desea.

También está muy en boga la publicación en la red de bitácoras digitales, en formato multimedia, haciendo uso de herramientas de *Blog* (Binary LOG o abreviación de weB LOG), en los cuales nos detendremos más adelante por su uso potencial como herramienta educativa. En esencia, son páginas web en secuencia cronológica e interactivas, en el sentido de que el lector puede agregar comentarios a lo que escribió el autor, con lo cual se convierten no sólo en sistemas de compartir nuestra producción sino también en modos de generar diálogo.

Sistemas como BLOGGER⁴⁷ de Google y BITACORAS⁴⁸ son herramientas gratuitas para creación de bitácoras digitales multimedia donde cabe tener autoría individual o colectiva y divulgar selectivamente o al gran público lo que uno escribe.

5. I: TIC para mediatizar la interacción con otros individuos o con grupos

Las TIC tipo I casi no requieren presentación, pues la gran mayoría son de uso corriente entre jóvenes y, crecientemente, entre adultos. El común denominador es “interacción entre personas, mediatizada por sistemas digitales”. Las diferencias entre los tipos de herramientas tienen que ver con que la interacción se dé en tiempo real (sincrónica) o en diferido (asincrónica); que sea textual, oral o multimedial; y sea moderada o no.

5.1 Herramientas para interactuar asincrónicamente

Las *interacciones asincrónicas* han hecho posible superar las barreras de espacio y tiempo para lograr diálogos dinámicos. Además, los emisores y receptores de mensajes se benefician de la capacidad de distribución de Internet y de almacenamiento de los servidores de este tipo de TIC para mediatizar digitalmente la comunicación entre personas.

⁴⁷ <http://www.blogger.com/start>

⁴⁸ <http://www.bitacoras.com>

Correo electrónico

Los sistemas de correo electrónico permiten recibir, enviar y almacenar mensajes digitales (con textos, imágenes, fotos, sonidos, videos, enlaces a sitios web) en buzones electrónicos. Como en el correo normal, cada quien tiene una dirección que identifica su buzón y el servidor de correo donde se halla. Un buzón requiere una llave (la dirección) y una clave (la contraseña) que sólo conoce el propietario. Allí llegan y de allí se despachan los mensajes digitales.

El uso de correo electrónico permite compartir en privado ideas y sentimientos con quienes se interactúa en la red; da la posibilidad de interacción directa digital entre los miembros de una comunidad educativa. No obstante, puede ser muy dispendioso y poco efectivo en términos de esfuerzo cuando se usa para apoyar procesos educativos con grupos, pues para interactuar por este medio de forma individual con muchas personas que comparten inquietudes semejantes, se requiere invertir no pocas horas leyendo y contestando mensajes. Imaginemos recibir mensajes de 40 alumnos y tratar de mantener correspondencia con cada uno de ellos; para esto resultan más efectivos otros formatos (por ejemplo foros o listas de interés) que permiten atender asuntos comunes en espacios compartidos, y asuntos personales en espacios privados o por correo electrónico.

Para aprovechar el correo electrónico es necesario desarrollar:

- El hábito de descargar y leer el correo periódicamente
- La capacidad de elaborar mensajes escritos legibles
- La habilidad para depurar los mensajes que llegan (¡muchos son basura!) y llevar directorios de usuarios o listas de éstos (para simplificar la interacción)
- El criterio para abrir o no los archivos adjuntos (más de un virus llega por esa vía)
- La estrategia para organizar la información enviada y recibida (de lo contrario será inmanejable el archivo de correo)
- La habilidad para responder a uno o varios usuarios (racionalizar el esfuerzo).

Sin embargo, aún hay usuarios que se contentan con usar el correo electrónico como el de papel, prácticamente sin usar más funciones que

"recibir" y "enviar", satisfechos con la inmediatez y gratuidad del servicio.

Muchos servicios de Internet ofrecen gratis servicios de correo electrónico con abundante capacidad de almacenamiento (cerca de 6 gigabytes), control de virus incorporado y posibilidad de recibir mensajes de texto o hipertexto, como por ejemplo GMAIL⁴⁹ de Google, YAHOOMAIL⁵⁰ de Yahoo, HOTMAIL⁵¹ de Microsoft.

Diarios digitales, en inglés, Blogs

Físicamente lo más cercano a un *blog* (Binary Logs, también llamados Web Logs) es una página web, es decir, un espacio en Internet donde se publica y comparte información, valiéndose usualmente de editores de hipertexto que permiten hacer uso de colores, tamaños y tipos de letras, así como de enlaces, gráficos, sonidos, animaciones que pueden ser o no controladas por el usuario. La gran diferencia con una página web consiste en que los *blogs* muestran los aportes hechos organizados en el tiempo (como toda bitácora); otra diferencia importante es que hacen posible recibir información de retorno, dándoles a los lectores la oportunidad de comentar en público los aportes hechos en las comunicaciones (*posts*). Muchos *blogs* tienen sistemas de etiquetas que permiten "seguir" los aportes que se hacen mediante navegación por los descriptores que se usan en las etiquetas.

Hay debate entre los usuarios educativos de los *blogs* respecto a asuntos de veracidad, privacidad y seguridad en los mensajes, toda vez que si se usa un blog sus creadores y quienes hacen los comentarios pueden decir lo que quieran sin los filtros de los editores o responsables de los sitios web. Además, los estudiantes están expuestos a que cualquier persona vea y comente sus publicaciones, lo cual no siempre es deseable en un proceso formativo y privado como suele ser el trabajo escolar. De todos modos, acudir a soluciones como promover que los estudiantes no publiquen sus nombres completos ni sus fotos en estos blogs

⁴⁹ <http://gmail.com>

⁵⁰ <http://yahoo.es>

⁵¹ <http://hotmail.com>

públicos para resguardar la privacidad, hacen perder el sentido de la propiedad intelectual de lo que se publica.

También hay quienes opinan que la solución es que las intranet de los distritos escolares, o los portales educativos, tengan sistemas *blog* que sólo puedan ser consultados por sus usuarios, o con dominios limitados y definidos por clase de usuario, si el portal está organizado con acceso restringido según el perfil (*blogs* para estudiantes, docentes, directivos, etc.).

El más conocido de los servicios de blog con acceso abierto es **BLOGGER**⁵². Este es un servicio gratuito que forma parte de los recursos que ofrece Google a sus usuarios. Permite crear cuentas blog en el idioma preferido, con la interfaz y los atributos de privacidad y seguridad deseados.

Entre los servicios gratuitos para crear blogs se encuentra **BITÁCORAS**⁵³, también reseñado antes, con instrucciones en español, muy fáciles de seguir.

WORDPRESS⁵⁴ es una de las herramientas más conocidas para integrar servicios de blog, es decir, para poner juntos los aportes de distintos blog. Es un sistema de gestión de contenidos orientado a blogs, utilizable bajo licencia pública general de software abierto (cuya sigla GPL significa en inglés *General Public License*), con interfaz gráfica tipo **WYSIWYG** (*What you see is what you get*, lo que usted ve es lo que obtiene) y con versiones en español⁵⁵ que son desarrolladas por una comunidad de usuarios.

Los wiki

Dice la *Wikipedia* (una enciclopedia se construye colaborativamente en la red y de la que hablaremos más adelante) que un espacio de interacción tipo *wiki*:

- Usa una aplicación informática que permite que los documentos alojados (*páginas wiki*) sean escritos de forma colaborativa usando

⁵² <https://www.blogger.com/start>

⁵³ <http://bitacoras.com/>

⁵⁴ <http://wordpress.org/>

⁵⁵ <http://wordpress-es.sourceforge.net/>

un navegador, aplicando una notación sencilla para dar formato, crear enlaces, etc.

- Incluye una colección de páginas wiki hipertextuales, que pueden ser visitadas y editadas en cualquier momento y por cualquier persona que tenga privilegios de edición, pues en algunos casos para hacer esto se exige el registro como usuario y puede haber un editor que es quien autoriza nuevas versiones.

A primera vista los wiki se parecen mucho a los blog, en cuanto que dan la posibilidad a los interesados de convertirse en creadores y no sólo en buscadores o lectores de información. Tanto en los blog como en los wiki cabe comentar aquello que se publica, discutirlo, valiéndose de netiqueta⁵⁶. Sin embargo, blogs y wikis son tecnologías y herramientas de interacción muy distintas.

- Una gran diferencia es que cada página en un *blog* es de autoría individual, mientras que cada página de un *wiki* es de autoría colectiva. En un *blog* se sabe quién escribió qué y cuándo, porque cada página lleva asociadas la identificación del autor, la fecha y hora de la última modificación; en un *wiki* la historia permite saber quién ha aportado qué y cuándo, pero la versión actual es fruto del colectivo y el usuario final suele no estar al tanto de la evolución de las ideas presentadas.
- Los *wiki* preservan la historia de los aportes a cada página (cambios y autores por versión), con lo que es posible recuperar versiones previas, pasándolas como página actual; los *blog* no preservan las versiones anteriores de una página, el autor las puede editar cuando quiera, pero cuando confirma, la página cambió para siempre.
- Los *blog* publican las páginas en orden cronológico, una detrás de la otra, mientras que un *wiki* publica tantas páginas cuantas se estén construyendo o hayan construido, y presenta en cada caso la última versión de cada página.

Entre las críticas que se hacen a los *wikis* se dice que cuando alguien edita una página *wiki*, es decir, borra, cambia, suprime o agrega contenido, los cambios aparecen inmediatamente en la web, lo que permite

⁵⁶ Netiqueta es el conjunto de reglas sobre etiqueta en la red. Para más información, vaya a <http://www.netiqueta.org/>

dudar sobre la veracidad y confiabilidad de la información que se publica en algunos *wiki*. También dicen que es posible que haya “vandalismo” electrónico, dado que cualquiera puede intervenir y dejar huellas indeseables. Para resolver esto hay que ir más allá de crear los espacios de colaboración *wiki*, conviene cuidar la membresía a los espacios *wiki* y desarrollar sentido de comunidad que permita autocontrolar la calidad de lo que se dice en el *wiki*.

Las comunidades que construyen colaborativamente en espacios tipo *wiki* suelen tener reglas, principios, patrones de comportamiento y maneras de darse retroalimentación. De este modo pueden cuidar entre todos que lo que se publica tenga vigencia y sea correcto, por ejemplo haciendo seguimiento de las novedades (viendo los cambios que se hacen al contenido y sus autores) y recuperando versiones anteriores cuando hace falta.

Es posible utilizar *wikis* con fines educativos (alojándolos en campus virtuales o intranets escolares), y así dar oportunidad a que los estudiantes creen y corrijan textos colaborativamente a partir de sugerencias dadas por el profesor. De este modo se supera la crítica hecha a la publicación en Internet de trabajos de los estudiantes, que son formativos más que productos terminados.

Entre los motores *wiki* más conocidos se encuentran WIKISPACES⁵⁷ un sistema de acceso abierto y con posibilidad de controlar quién aporta, vía membresía. MEDIAWIKI⁵⁸ es un sistema de acceso abierto y bajo licencia GPL programado en PHP que usa un base de datos MySQL sobre APACHE⁵⁹.

Otra solución con filosofía *wiki* con la que se puede hacer trabajo colaborativo para la creación, edición y publicación en la red de documentos de texto, hojas de cálculo y presentaciones digitales, es GOOGLE DOCS⁶⁰. Esta aplicación

⁵⁷ <http://wikispaces.com> y <http://www.wikispaces.com/help-spanish>

⁵⁸ <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/es>

⁵⁹ Suena a jeringonza, pero para no dejarse apabullar por los términos, ingrese a la wikipedia en español <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada> y navegue por las definiciones de todos estos términos y los conceptos relacionados.

⁶⁰ <http://docs.google.com> y <http://www.google.com/google-d-s/intl/es/tour1.html>

en la red hace posible que las personas con acceso a un documento que se comparte puedan verlo, editarlo o crearlo, dependiendo de los privilegios que tengan.

Foros en la red

Son sistemas de interacción digital en espacios virtuales donde se discuten temas de interés, valiéndose de herramientas que permiten tomar parte activa en la construcción colectiva de conocimiento a partir de respuestas a semillas de discusión y de generación de nuevos interrogantes por resolver.

El ámbito de los foros está ligado al de las comunidades a las que sirven; es decir, los foros suelen llevarse a cabo entre personas que pertenecen a cierto grupo o comunidad virtual, comparten ciertos intereses u objetivos y se sienten cómodas intercambiando ideas con los demás participantes.

Sistemas para *administración de grupos de interés*, como los que brindan YAHOO GROUPS⁶¹ o GOOGLE GROUPS⁶² han hecho posible que muchos educadores y estudiantes tomen parte en comunidades en la red que se unen por afinidad de intereses. Para pertenecer a un grupo hay que inscribirse, bien sea por invitación o por solicitud (algunas comunidades son restringidas, otras de libre inscripción; algunas tienen un moderador o moderadores que regulan la información, otras no); para intervenir hay que registrarse con una llave y clave, y seguir las normas de etiqueta en la red; para hacer seguimiento a la actividad de un grupo o comunidad virtual el sistema puede informar vía correo electrónico –con la periodicidad y nivel de detalle que se solicite– y mantener actualizadas las novedades. Los sistemas para administración de grupos de interés no sólo ofrecen la posibilidad de hacer foros, también permiten compartir información en forma directa (archivos organizados en carpetas digitales) o mediante enlaces a sitios web donde está disponible la información.

⁶¹ <http://es.groups.yahoo.com/>

⁶² <http://groups.google.es/>

Hay otros sistemas de administración de foros disponibles para educadores y estudiantes, muchos de los cuales son parte de portales o intranets que incluyen *sistemas de apoyo al aprendizaje* (LMS, *Learning Management Systems*) o *sistemas de administración de contenido* (CMS, *Content Management Systems*).

Entre los LMS de código abierto para administración de cursos en la red más difundido, se halla MOODLE⁶³ (acrónimo de “Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment” – Entorno de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos y Modular), con versión en español⁶⁴. Este solución de código abierto ha ganado gran popularidad por la creciente comunidad de usuarios que la utiliza, mantiene y mejora. Igual sucede con SAKAI⁶⁵, un entorno de código abierto útil para propiciar colaboración y aprendizaje para la educación.

MAMBO⁶⁶ es un sistema de portales CMS de código abierto, basado en el lenguaje de programación PHP y base de datos SQL, que apoya toda su interacción en templates o themes que le facilitan a cualquier persona u organización la puesta a punto de un espacio integrado de publicación de información e interacción entre suscriptores.

Los LMS comerciales tienen mucha fuerza por su calidad y servicio de soporte. BLACKBOARD⁶⁷ y WEBCT⁶⁸ han integrado sus esfuerzos como compañía para hacer de sus LMS productos con mejor servicio.

En entornos como los mencionados, las discusiones se llevan a cabo en foros que pueden ser globales (participan todos los miembros de la comunidad) o grupales (participan sólo miembros selectos de la comunidad de aprendices); algunos de dichos foros son moderados (es decir, hay un facilitador de discusiones que ayuda a que se mantenga el foco y se profundice en el diálogo) y otros son de libre participación, abiertos.

⁶³ <http://moodle.org>

⁶⁴ <http://moodle.org/course/view.php?id=11>

⁶⁵ <http://www.proyectosakai.org/>

⁶⁶ <http://www.mambohispano.org/>

⁶⁷ <http://blackboard.com/europe/es/products/index.htm>

⁶⁸ http://www.webct.com/products/viewpage?name=products_demo_webinars

5.2 Herramientas para interactuar sincrónicamente

Las *interacciones sincrónicas en la red* adquieren un rol cada vez más importante, pues permiten dialogar en vivo (chatear), usando texto, voz, o audiovisión por Internet, acerca de temas de interés para los interlocutores, quienes para poder hablar deben coincidir en mismo un espacio digital.

Sistemas de mensajería instantánea

Los *sistemas de mensajería instantánea* son quizás los dispositivos de interacción sincrónica más utilizados, pues permiten enviar y recibir mensajes entre usuarios que previamente han aceptado establecer comunicación, valiéndose de textos que se despliegan en un espacio virtual privado que el sistema de mensajería crea para cada grupo que dialoga.

En cuanto a la privacidad, estos sistemas se contraponen a los *salones de chat*, donde se conversa con quien se asome por allí sin necesidad de ser invitado o escoger con quién hablar.

Son muy populares los sistemas de mensajería instantánea y de voz por Internet como MSN⁶⁹, YAHOO⁷⁰, AIM⁷¹ e ICQ⁷², no sólo por ser gratuitos y permitir interacción en línea con quienes se ha conformado un grupo (contactos), sino porque las opciones disponibles son amplias y poderosas. Por ejemplo, permiten saber qué contactos están en línea y en qué condición (disponible, ocupado, almorzando), dan a conocer la disponibilidad del usuario –u ocultarla sin tener que salir del sistema-; permiten bloquear o habilitar personas de la lista de contactos, guardar el registro de las conversaciones textuales, saber si el interlocutor está tecleando un mensaje en la ventana de diálogo, así como expresar sentimientos y sensaciones a través de íconos o animaciones. Por otro lado, es posible dialogar con grupos de personas,

⁶⁹ <http://www.msn.com/>

⁷⁰ <http://es.yahoo.com/>

⁷¹ <http://dashboard.aim.com/aim>

⁷² <http://www.icq.com/>

cada una con su propio identificador (foto, dibujo, tipo de letra), sostener uno o más diálogos en paralelo y hacer uso de cámara digital, micrófono y parlantes, si el ancho de banda es suficiente y se posee la tecnología necesaria.

Una variante de estos sistemas son los de *sistemas de telefonía por Internet*. Uno de ellos es SKYPE⁷³. Además de brindar un sistema de interacción por voz y texto, es posible rentar líneas con número telefónico que se manejan por la red, a precio reducido.

Hay quienes se oponen rotundamente a usar sistemas de mensajería instantánea en ambientes educativos por considerar que los diálogos son eminentemente sociales y que los códigos (abreviaturas) no favorecen uso de un buen lenguaje. Por razones semejantes hay quienes sostienen que la mensajería instantánea es una gran herramienta para desarrollar sentido de comunidad. Lo cierto es que ofrecen una gran oportunidad para dialogar textual y oralmente, con o sin video.

En términos educativos ha cogido mucha fuerza la mensajería instantánea entre miembros de comunidades de aprendizaje. Herramientas gratuitas como PRONTO⁷⁴, que corren en múltiples plataformas LMS, hacen posible que miembros de cada salón de clase virtual puedan interactuar por voz o texto cada que los miembros de la comunidad educativa estén activos. La experiencia usando este sistema en cursos de pregrado muestra que es una manera efectiva de contactar los estudiantes (que muchas veces no leen su correo electrónico) al abrir ellos la herramienta, así como de crear comunidad con ellos y entre ellos sosteniendo diálogos por voz y con posibilidad de registrar lo convenido en el chat de texto.

Sistemas para hacer videoconferencias digitales

Las *videoconferencias digitales* son un modo cada vez más importante de diálogo con propósito educativo y laboral: cabe usar la palabra, los gestos y ayudas que complementan lo dicho, tales como íconos y ventanas

⁷³ <http://skype.com/intl/es/welcomeback/>

⁷⁴ <http://www.wimba.com/uk/lang/es/>

electrónicas. Permiten el diálogo entre emisores y receptores (una o más personas en cada estación).

Varios de los sistemas de mensajería instantánea — por ejemplo SKYPE y MSN — ofrecen la posibilidad de realizar videoconferencias usando cámaras y micrófonos integrados a un computador entre dos personas. Extensiones de estos sistemas — como FESTOON⁷⁵ permiten tener hasta seis usuarios, con las limitaciones que pueda tener el canal de comunicación — ancho de banda — de que se disponga (la frecuencia de las imágenes puede limitarse y entrecortarse el sonido cuando hay poco ancho de banda) y la calidad de una cámara y micrófono de bajo costo.

También existen plataformas integradas para hacer videoconferencias entre grupos grandes de usuarios, como es el caso de WIMBA⁷⁶ y de ELLUMINATE⁷⁷. En estos sistemas hay aulas virtuales en las que quienes tienen privilegios de instructor pueden desplegar presentaciones digitales, presentar sitios web, compartir recursos con los participantes, así como manejar el diálogo oral con ayuda de íconos para pedir la palabra, para aplaudir, preguntar, etc. Los participantes deben tener audífonos y micrófono, pero cuando la calidad de la comunicación por Internet no es la esperada también cabe hacer uso de teléfono en forma integrada. Siempre es posible hacer uso de chat de texto, en paralelo con el de voz. Para quienes no asisten a la sesión, ésta se puede grabar y poner a disposición en Internet, en formato de stream video. Para usos profesionales es posible contar con TIC que permiten video y sonido de alta calidad, que usan líneas de buen ancho de banda y que exigen invertir en equipos y servicios de comunicación en cada punto de intercomunicación. Este es el caso de salas de videoconferencia con equipos POLYCOM⁷⁸, las cuales hacen posibles diálogos entre grupos que están en salas dispersas y que pueden verse y oírse por video en Internet.

⁷⁵ <http://festoon.softonic.com/>

⁷⁶ <http://Wimba.com>

⁷⁷ <http://www.elluminate.com/>

⁷⁸ <http://www.polycom.com/index2.html>

6. 0: TIC para apoyar exploración conjetural de objetos de estudio

Los estudiantes se ven en la necesidad de apropiarse mucho conocimiento cultural, científico y tecnológico, pues forma parte del currículo escolar. Sin embargo, no siempre tienen la posibilidad de vivenciar los fenómenos con los que se relacionan los conocimientos, sea porque estos no están a la mano, o porque se usan medios predominantemente expositivos. Las buenas explicaciones y la completa documentación textual o audiovisual ayudan a captar el modelo mental de quien transmite el conocimiento, pueden contribuir a entender lo que se estudia, pero suelen no ser suficientes para lograr dominio conceptual de temas ni para desarrollar competencia en la aplicación de lo aprendido.

Los laboratorios de ciencias y los equipos de experimentación científica ayudan a realizar prácticas directas con distinto grado de realismo y precisión, de cuya observación y análisis los aprendices pueden formular sus propias tesis y conclusiones, como base para la discusión con otros y para la construcción de conocimiento. Sin embargo, no están siempre disponibles en la cantidad necesaria para que cada quien viva la experiencia, o cuesta mucho el material que le permita a cada estudiante aprovechar estos apoyos.

Los trabajos de campo y los modelos a escala también ayudan a vivir experiencias directas de las que se pueden obtener evidencias que permiten construir conocimiento; pero no todos pueden ir a donde está el objeto de estudio, ni los modelos a escala captan la funcionalidad que tienen. En síntesis, no siempre es viable tener una experiencia directa con objetos reales, a veces por su tamaño (micro o macro), por su limitada disponibilidad (fenómenos de periodicidad muy baja) o simplemente por sus costos u otras circunstancias.

Razones como las anteriores, sumadas a la creciente capacidad computacional y gráfica de los equipos de que se dispone en las escuelas, han justificado un gran esfuerzo por parte de grupos de investigación en educación en los campos de la cultura, las matemáticas, las ciencias, la tecnología y la ingeniería, por poner a disposición de estudiantes y de docentes dispositivos tecnológicos que amplían nuestros sentidos para la captura de información y nos permiten discriminar y analizar

los datos recibidos, modelar y simular fenómenos con distintos grados de complejidad, de modo que se hace uso educativo de tales tecnologías.

6.1 Manipulativos digitales para apoyar aprendizaje por exploración y conjetura

Los siguientes grupos de objetos de estudio tienen en común ser manipulables digitalmente, lo que quiere decir que el usuario puede alterar el estado de variables que afectan el comportamiento del objeto de estudio y éste se comporta orgánicamente, es decir, como un organismo vivo que responde a la manipulación hecha de variables.

Algunos recursos para manipular digitalmente objetos científicos

La siguiente lista no agota las posibilidades que hay de conseguir manipulativos digitales que apoyen aprendizaje de ciencias centrado en el estudiante, mediante indagación, experimentación y colaboración, pero es una buena colección inicial.

PHYSICS.ORG⁷⁹ es un sitio creado en el Instituto de Física de Londres, Reino Unido, para apoyar a estudiantes, padres de familia y educadores interesados en aprender física mediante exploración y reflexión. Tiene un sistema de consulta en línea que relaciona lo que se pregunta con sitios web donde se puede hallar la respuesta; también permite incluir sitios web relevantes, preclasificados por la edad y los conocimientos previos que deben tener los usuarios. Además, *Physics.org* ofrece una colección de sitios web comentados por quienes los han usado en enseñanza o aprendizaje de conceptos de física; y mensualmente reseña un sitio web. Este sitio tiene recursos interactivos para explorar en forma lúdica conceptos de física asociados a elementos de la vida diaria y a la historia de dicha disciplina, útiles para despertar interés y favorecer el entendimiento a través de la tecnología y los fenómenos naturales con que nos solemos relacionar.

⁷⁹ <http://www.physics.org/index.asp>

TEEMS⁸⁰, *Technology Enhanced Elementary Math and Science*, Matemáticas y ciencias elementales enriquecidas con tecnología, es un proyecto del Consorcio Concord, de Massachussets, con financiación de la Fundación Nacional de Ciencias de USA. Produce unidades de aprendizaje que usan computadores, sensores y modelos interactivos para el aprendizaje de las matemáticas y las ciencias. Los recursos digitales corren en múltiples plataformas de computadores de escritorio o de mano, utilizan sensores de cualquiera de los proveedores comerciales, y están articulados a los nueve estándares estado-unidenses para enseñanza de las ciencias en grados 3-4, 5-6 y 7-8. Los recursos vienen acompañados de guías de uso para estudiantes y maestros y se pueden usar gratuitamente luego de registrarse en el sitio web del proyecto. El código de los manipulativos es abierto y requiere aceptar licencia pública general menor (LGPL, sigla en inglés de *Lesser General Public License*).

MOLO, *Molecular Logic Project*⁸¹ es un proyecto que busca que los estudiantes entiendan fenómenos fundamentales de la biología en términos de interacción de átomos y moléculas. Entre otras cosas, MOLO tiene actividades sobre macro-moléculas, atracciones intermoleculares, síntesis y desdoblaje de proteínas. MOLO tiene una base de datos de actividades para uso de estudiantes y profesores que se puede consultar por distintos conceptos, palabras claves o número. Cada actividad indica qué tecnología requiere; algunas son editables y todas tienen instrucciones para el docente y para los estudiantes. MOLO es también un sistema producido por el Consorcio Concord. Luego de registrarse, comprobar el carácter educativo del interesado y firmar una licencia LGPL, este software de dominio público se puede descargar y adecuar el código fuente.

Algunos recursos para manipular digitalmente objetos matemáticos

Los siguientes sitios web incluyen recursos que ayudan a vivir experiencias de las que se pueden discernir conceptos matemáticos.

⁸⁰ <http://portal.teemss2.concord.org>

⁸¹ <http://molo.concord.org>

La NLVM—*National Library of Virtual Manipulatives*—⁸² Biblioteca Nacional de Manipulativos Virtuales, fue creada para apoyar el aprendizaje interactivo de las matemáticas y es una colección de aplicaciones en Java (Java applets) que corren en navegadores de Internet, creada por la Universidad del Estado de Utah. Incluye manipulativos para distintas edades y diferentes grupos de estándares para enseñanza de matemáticas. Cada manipulativo cuenta con instrucciones de uso, con una ayuda para padres o educadores a modo de plan de lección, así como con explicación de los estándares de matemáticas que se pueden apoyar con su uso. Es posible adquirir copias en CD de esta colección o usarla en la red.

SEEING MATH INTERACTIVES⁸³ brinda una colección de manipulativos digitales (objetos digitales que se pueden manipular y que responden orgánicamente a los estímulos que reciben) para jugar con conceptos de álgebra de secundaria que son difíciles de aprender. Cada manipulativo digital permite contar con múltiples representaciones del conocimiento matemático (simbólica, numérica, gráfica). Para usarlos se requiere disponer de Java⁸⁴ en versión igual o superior a 1.3.1. Estos interactivos, producidos por el Consorcio Concord, de Massachussets, pueden ser instalados y usados gratuitamente en instituciones educativas o por educadores que se registren en el sitio web. También pueden ser ajustados por quienes descarguen el código fuente mediante licencia LGPL de código abierto.

En MATHSNET⁸⁵ se tiene acceso a una colección de recursos web producidos o sugeridos por el programa Interactive Tools for Science and Math para uso de profesores y estudiantes. La gran mayoría de las aplicaciones que ofrece este servicio están en Java, son gratuitas y apoyan el aprendizaje de matemáticas o ciencias de los grados de secundaria.

⁸² <http://nlvm.usu.edu/en/nav/vlibrary.html>

⁸³ http://seeingmath.concord.org/sms_interactives.html

⁸⁴ Disponible en <http://www.java.com>

⁸⁵ <http://www.mathsnet.net/asa2/2004/tech.html>

6.2 Aprendizaje por exploración y conjetura

Hay muchas maneras de apoyar aprendizaje conjetural y por descubrimiento, más allá del uso de manipulativos digitales. Reseñamos a continuación métodos y herramientas que han mostrado efectividad en este proceso.

Exploraciones en la red

Las exploraciones por la red son como los viajes de campo que se organizan con fines educativos, buscan poner en contacto al aprendiz con información de primera mano de la que puede aprender lo que se desea. Reseñamos a continuación dos de las metodologías y herramientas más conocidas.

WEBQUEST⁸⁶ es una metodología y herramienta de construcción de actividades de exploración basadas en uso de la red, desarrollada en San Diego State University. Ofrece a los docentes la posibilidad de examinar y seleccionar actividades de aprendizaje basadas en la web y estructurarlas en forma de lección.

Toda WebQuest sigue este esquema metodológico:

Introducción	Orienta al estudiante sobre el contenido de la lección y despierta su interés en el tema.
Tarea	Describe lo que el estudiante deberá haber realizado al terminar la actividad.
Proceso	Describe los pasos que el estudiante debe seguir para llevar a cabo la tarea.
Recursos	Presenta una lista de sitios web localizados por el profesor para ayudar a los estudiantes a completar la tarea.
Evaluación	Provee una plantilla de estándares para examinar seis aspectos del producto final de los estudiantes.
Conclusión	Resume la experiencia y estimula la reflexión acerca de ésta y de todo el proceso, de manera que ayude a generalizar lo aprendido.

⁸⁶ <http://webquest.org/>

En portales educativos como *Eduteka*⁸⁷ hay colecciones de WebQuest en español, organizadas por áreas de contenido, predominantemente para educación básica y media, pero con posibilidades de extrapolación a educación superior, en particular lo referente al método.

CYBERGUIDES⁸⁸ es un recurso en la red que permite crear unidades de aprendizaje centradas en analizar obras de la literatura universal. La CiberGuías son unidades de instrucción sobre literatura hechas como material suplementario que responde a estándares de lenguaje del Estado de California. Cada CiberGuía contiene una versión para el estudiante y otra para el profesor, con especificación de los estándares a los que apunta, actividades y procesos que se deben realizar, sitios seleccionados y una rúbrica para orientación y evaluación.

Exploración digital de nuestro planeta

La enseñanza de las ciencias sociales puede contar con grandes aliados en aplicaciones que permiten explorar nuestro planeta desde distintas alturas y con distinto nivel de detalle.

GOOGLE EARTH⁸⁹ y WORLD WIND⁹⁰ son dos herramientas de exploración de sitios físicos en cualquier lugar del planeta, que permiten visualizar imágenes tomadas desde un satélite y acercarlas tanto como se quiera. Ambas usan sistemas de información geográfica con mapas que se pueden ver desde distintas alturas y diferentes niveles de detalle. Si bien se parecen, son productos distintos⁹¹. Ambas herramientas ofrecen versiones gratuitas. La de Google Earth es básica, aunque es posible adquirir las más avanzadas. Una vez instaladas, se aprende a usar estas herramientas por experiencia directa (ensayo y error), por experiencia guiada (usando el soporte en línea), por

⁸⁷ <http://www.eduteka.org>

⁸⁸ <http://www.sdcoe.k12.ca.us/score/cyberguide.html> Ver <http://www.sdcoe.k12.ca.us/score/cybiling.html> para ciberguías en español

⁸⁹ <http://earth.google.com>

⁹⁰ <http://worldwind.arc.nasa.gov/>

⁹¹ http://www.worldwindcentral.com/wiki/Google_Earth_comparison.

demostración (siguiendo el tutorial) o haciendo parte de grupos de interés.

Cuando estas herramientas son usadas por alumnos en planes colaborativos de indagación y construcción de conocimiento, cabe combinarlas con otras que permitan publicar y comentar los resultados de las búsquedas, como por ejemplo los *blogs* o *wikis* antes mencionados. Está en boga a nivel universitario el uso de Google Earth para hacer ciber-excursiones por países donde se habla otro idioma, con el fin de expandir el conocimiento idiomático, literario, cultural, geo-físico y geo-político, consultando los recursos multimedia geo-referenciados que están asociados a los lugares por los que se hace la ciber-excursión. A partir de sus hallazgos los estudiantes comparten en un sistema digital sus reflexiones y discuten en foros sobre las múltiples perspectivas obtenidas.

Proyectos colaborativos

Dice un informe del *Proyecto Enlaces* de Chile (1999, p. 224) que los *proyectos colaborativos* se pueden definir como una estrategia de aprendizaje altamente participativa, que implica el desarrollo de destrezas por parte de los participantes para aumentar sus conocimientos y habilidades en alguna temática de interés educacional. Esta estrategia se potencia a través del uso de las comunicaciones electrónicas y sistemas de apoyo a la colaboración por computador (trabajo colaborativo apoyado por computador; en inglés corresponde la sigla *CSCW Computer Supported Collaborative Work*). Hay muchas herramientas de *CSCW*, una de las más difundidas – *BSCW* – se halla disponible para instituciones educativas gratuitamente y en español⁹².

Las herramientas de *BSCW*, al usarse con metodología de trabajo colaborativo como la propuesta por Johnson y Johnson (1994), permiten generar e implementar proyectos colaborativos locales o globales. Los primeros se orientan al desarrollo de la interdependencia positiva, el trabajo por metas, la administración del tiempo y la utilidad de los

⁹² http://bscw.fit.fraunhofer.de/bscw_help-3.2/spanish

recursos; los segundos favorecen el intercambio cultural, el reconocimiento y valoración de la diferencia en el concierto de la aldea global; así mismo, generan expectativa de interacciones futuras con otras escuelas y vínculos entre pares para validar y profundizar conocimientos construidos socialmente.

La metodología de proyectos colaborativos ha sido usada en muchos proyectos alrededor del mundo, como por ejemplo:

- KIDLINK⁹³, una red mundial de niños entre 10 y 15 años que tiene participantes de 164 países. Hacen proyectos colaborativos globales, alrededor de temas que tienen sentido en educación secundaria.
- I*EARN⁹⁴ es una red internacional de recursos para la educación de la comunidad que desarrolla proyectos colaborativos en torno a problemas del mundo real; busca contribuir a la salud de las personas y del planeta.
- WORLD LINKS⁹⁵ es una red cuya creación promovió el Banco Mundial y que busca que jóvenes de secundaria vivan experiencias de innovación pedagógica usando colaborativamente las TIC.
- En Latinoamérica hay esfuerzos nacionales importantes en los que los proyectos colaborativos son un elemento fundamental del proceso de innovación pedagógica con TIC, como el *Proyecto ENLACES* de Chile⁹⁶, y el *Proyecto CONEXIONES*⁹⁷ que es una red colombiana de innovación educativa liderada por la Universidad Eafit (Zea Restrepo et al., 2003).

6.3 Qué hace la diferencia en el uso innovador de TIC

Contar con objetos de estudio que se pueden manipular digitalmente hace posible el aprendizaje por exploración, conjetural, por descubrimiento, en colaboración; sin embargo, no es suficiente tener acceso a este tipo de TIC para que se den innovadores ambientes de aprendizaje.

⁹³ <http://www.kidlink.org/spanish/>

⁹⁴ <http://www.iearn.org/spanish/losproyectos.htm>

⁹⁵ <http://www.world-links.org/index.php?newlang=spanish>

⁹⁶ <http://www.enlaces.cl>

⁹⁷ <http://www.conexiones.eafit.edu.co/>

Los desequilibrios cognitivos y su relevancia

Satisfecha la curiosidad de saber qué es y cómo se manipula un objeto digital, es posible que no pase nada en el estudiante, si éste no tiene un reto por resolver, una inquietud o desequilibrio que lo lleve a explorar el comportamiento del objeto de estudio (Piaget, 1972), si dicho reto no está en su zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978), o si el docente decide usar el manipulativo para explicar el conocimiento que debió construir el estudiante.

Esta situación no es privativa de las herramientas TIC tipo O, pues todas se prestan a lo mismo: maximizar prácticas educativas convencionales o crear prácticas innovadoras. Es decir, la diferencia la marca lo que se hace con las TIC, de acuerdo con el enfoque educativo subyacente (centrado en transmitir conocimiento, por un lado; por el otro, en descubrir o construir conocimiento). Es esto lo que permite definir quién controla el proceso de aprendizaje, el profesor o el estudiante.

Dice Thomas Dwyer (1974) que en el *enfoque educativo algorítmico* predomina el aprendizaje vía transmisión de conocimiento, desde quien sabe hacia quien desea aprender. En él, el diseñador de ambientes de aprendizaje se encarga de encapsular secuencias bien diseñadas de actividades que llevan al aprendiz desde donde está hasta donde se desea que esté. El docente que usa este enfoque para articular las TIC a procesos educativos, no facilita que sus alumnos creen sus propios modelos de pensamiento, promueve que asimilen los modelos mentales que él les transmite.

En el *enfoque pedagógico heurístico* predomina el aprendizaje por indagación, experiencial y colaborativo, en el que la curiosidad, el asombro, la reflexión y la interacción con otros hacen la diferencia; el diseñador crea ambientes ricos en los que el alumno debe explorar conjeturalmente, por sí mismo o en colaboración con otros y llegar al conocimiento a partir de la experiencia y la reflexión, creando sus propias interpretaciones del mundo. Es muy eficaz para generar nuevos modelos de pensamiento.

Al docente que decida hacer uso de TIC le compete decidir cómo las usa y bajo qué enfoque o enfoques educativos. De esto depende que una TIC sea efectiva o no.

Exploración conjetural de demostradores, tutores y ejercitadores

Dentro de la perspectiva de los enfoques educativos algorítmico y heurístico cabe pensar que un objeto de estudio tipo manipulativo se puede usar para apoyar tanto el aprendizaje conjetural como el transmisivo. Lo contrario también es posible: recursos digitales eminentemente expositivos (demos, tutoriales, ejercitadores y sistemas de ayuda en línea) se pueden usar en modo heurístico.

Los sistemas tutoriales apoyan al estudiante en su aprendizaje siguiendo un ciclo de tipo algorítmico [teoría ►► ejemplo ►► ejercicio ►► retroinformación]. Usualmente son autocontenidos, es decir, toda la información está encapsulada. Los usuarios pueden ir aprendiendo lo que les sugiere el autor del tutorial (y seguir el orden propuesto por él) o lo que les llama la atención (seguir su propio orden según sus necesidades). Los demos (apócope de demostradores) y los sistemas de ayuda en línea suelen centrarse en las dos primeras etapas del ciclo mencionado, mientras que los ejercitadores actúan en las dos últimas.

Ahora, es importante aclarar que si el docente le pide al estudiante leer, aplicar, transferir y generalizar, éste logrará apropiarse del modelo mental de quien elaboró el material, pero no generar el propio. Cuando el maestro contextualiza el conocimiento que se va a adquirir en uno de estos sistemas relacionándolo con problemas de la vida real, cuando evoca los conocimientos previos del aprendiz en relación con el problema de estudio, cuando invita a hallar distintas maneras de entender el problema consultando diversas fuentes, cuando pide que se contrasten los aportes de distintos autores y los preconcepciones que se tenían, entre otras cosas, propicia que el alumno genere sus propios modelos de pensamiento sobre lo que interesa aprender, a partir de reflexión sobre materiales digitales expositivos.

La importancia de los sistemas digitales expositivos y los sistemas digitales experienciales en el aprendizaje radica en que ayudan a bajar el nivel de ansiedad a quienes no se sienten cómodos aprendiendo por su cuenta en un caso, o en el otro mediante exploración, porque no han sido formados así o porque tienen aptitudes que se contraponen con el enfoque expositivo o experiencial del maestro (Snow & Peterson, 1980).

Un ejemplo claro de esto es el aprendizaje de herramientas digitales de productividad. Hay quienes prefieren seguir el tutorial, el demo, usar el sistema de ayuda en línea. Pero hay quienes asumen el reto de aprender a usar las herramientas y controlar el proceso. Superado el entendimiento de la interfaz hombre-máquina (es decir, del sistema de intercomunicación entre el aprendiz y la herramienta) y teniendo claro qué hacer con la herramienta, el aprendiz apropia herramientas digitales por ciclos de tipo heurístico [ensayo ► error ► reflexión ► generalización], con la seguridad de que nada le va a pasar a la herramienta, ni a los datos, cuando se trabaja con copia de los mismos.

La consistencia en las interfaces de muchas herramientas (gracias a la similitud en la organización de los menús y en los términos utilizados) y el entendimiento previo del proceso que se desea seguir con ellas, permiten que la exploración autónoma, con eventual consulta a la ayuda, al manual, o a una comunidad de usuarios, permita aprender con relativa eficiencia y propiedad.

7. L: TIC para apoyar labores educativas

La labor del docente no se limita a lo que hace en el aula o a preparar clases y pruebas, sino que también incluye la creación y administración de ambientes de aprendizaje ricos, flexibles y crecientemente autónomos, donde el estudiante esté en control del proceso. Las herramientas que apoyan este tipo de labores son las que incluimos en este grupo de TIC; todas ellas brindan la oportunidad de que estudiantes o docentes creen sus propios artefactos; cuando estos han sido creados por los estudiantes es posible que hayan interiorizado los principios que subyacen al artefacto; cuando los artefactos han sido creados por los docentes, es posible contar con recursos expositivos o activos que puede ser objetos de estudio por parte de los alumnos.

Cuando distinguimos entre las herramientas para mejorar la Productividad individual y las que apoyan Labores educativas (la P y la L en nuestra PIOLA), somos conscientes de lo difícil que es esta diferencia, pues ambos grupos tienen que ver con herramientas que simplifican y amplían nuestra productividad en educación. Sin embargo, decidimos hacerlo, contando con la buena voluntad y agudeza mental

del lector, pues creemos que todas la P se pueden también usar como L si se desea, aunque no necesariamente todas las L se pueden convertir en P. Por otra parte, los materiales digitales que se crean con muchas L pueden convertirse en O y usarse para apoyar aprendizaje conjetural por parte de los alumnos.

7.1 Construcción de mapas conceptuales

Los mapas conceptuales son una manera de expresar visualmente las relaciones entre conceptos que subyacen a un objeto de estudio. Son de particular utilidad cuando el alumno es quien elabora el mapa, puesto que se convierte en una forma de expresar su entendimiento de lo que ha estudiado; pero también pueden ser usados por el docente para crear sistemas de navegación visual por conceptos relacionados, como apoyo al proceso de aprendizaje.

CMAP TOOLS⁹⁸ son herramientas gratuitas que permiten construir, navegar, compartir y criticar modelos de conocimiento expresados como mapas conceptuales. Pueden ser usadas por docentes y estudiantes de cualquier nivel y área de contenido, por sí mismos o como miembros de una comunidad que construye conocimiento en compañía. Una vez instalada la herramienta y ajustada la interfaz a español, el usuario puede ir descubriendo su funcionalidad mediante ensayo y error o acudir al tutorial⁹⁹ para resolver dudas sobre las distintas funciones y posibilidades; éste es un tutorial controlado con menú textual que guía paso a paso al usuario en la solución de sus inquietudes, mostrando imágenes directas para ilustrar las consultas.

La herramienta permite crear localmente y compartir globalmente mapas conceptuales, con lo que es posible ir más allá de la expresión de modelos mentales de cada autor; cabe crear comunidades que aprenden apoyadas en mapas conceptuales, compartiendo información de retorno entre pares, discutiendo distintas perspectivas sobre el mismo objeto de estudio e integrando conocimientos.

⁹⁸ <http://cmap.ihmc.us/>

⁹⁹ <http://cmap.ihmc.us/Support/help/Espanol/index.html>

Sin embargo, no es la herramienta sino el facilitador quien se encarga de crear y mantener saludable la comunidad de usuarios; la calidad de lo que se hace depende en gran medida de esta labor.

7.2 Construcción de mapas de causa-efecto

Los mapas de causa-efecto ayudan a los estudiantes a comprender la información reunida para solucionar un problema. Se pueden organizar los factores asociados a un problema y comprender cómo interactúan en relaciones de causa-efecto. El software soporta ciclos de investigación para ordenar lo que los estudiantes saben; se organiza ese conocimiento en un mapa y se evidencia si los conceptos iniciales están soportados por alguna evidencia.

Una reseña de Eduteka¹⁰⁰ sobre herramientas visuales para apoyar el aprendizaje dice que SEEING REASON¹⁰¹, un programa desarrollado por Intel y distribuido sin costo, está orientado a la creación de mapas de causa-efecto.

SEEING REASON genera un área de trabajo en el navegador de Internet que puede ser utilizada por el estudiante para investigar y comprender sistemas complejos. No es necesario descargar ningún software, ni instalar nada en el computador. En el área "Teacher Workspace" el profesor se registra, crea un folder para cada proyecto y conforma uno o más grupos de estudiantes, a los cuales les asigna una clave. Cada grupo ingresa al área "Student Login" y digita los nombres del proyecto y el grupo asignados, así como la clave. Aparece un área de trabajo en blanco donde los grupos pueden a crear los factores y las relaciones de causa-efecto que existen entre ellos. Aunque este programa está en inglés, el manejo es muy intuitivo y el área de trabajo dispone de íconos para cada función.

7.3 Construcción y exploración de modelos matemáticos

Los fenómenos físicos pueden expresarse mediante múltiples formas, como son ecuaciones, tablas, gráficos y también animaciones que

¹⁰⁰ <http://www.eduteka.org/HerramientasVisuales.php>

¹⁰¹ <http://www.intel.com/education/seeingreason/index.htm>

responden a los modelos lógicos subyacentes. Con esta idea, se han construido aplicaciones que permiten a estudiantes y profesores de secundaria y universidad hacer uso de las matemáticas para crear o explorar modelos interactivos.

MODELLUS¹⁰² es una herramienta que hace posibles múltiples representaciones (ecuaciones, tablas, gráficos, animaciones) de los fenómenos en estudio, y manipular variables directamente, sea en formas concretas o abstractas. *Modellus* permite “jugar” con modelos hechos por otros o crear los propios. Su distribución es casi gratuita (E\$5 para recibir por correo libro y CD). Cuenta con un sistema de ayuda en varios idiomas, incluyendo español, a través del cual se pueden analizar ejemplos y recibir información sobre cada función del sistema. El aprendizaje de *Modellus* es eminentemente experiencial y por indagación, para lo cual el sistema ofrece ayuda en línea. También es posible formar parte de la comunidad virtual *Modellus* en Yahoo Groups para compartir experiencias y buscar soluciones a los problemas que se presentan en el uso del sistema.

7.4 Construcción y exploración de simulaciones y juegos

Los juegos y los simuladores pueden ser ambientes poderosos para exploración, pero su construcción se convierte en un reto que obliga a entender muy bien los ambientes que se modelan, las reglas que rigen el funcionamiento, así como las variables intervinientes y de resultado. Crear juegos y simuladores sin una herramienta poderosa puede ser desbordante, pero con la herramienta apropiada puede ser viable y placentero.

AGENTSHEETS¹⁰³ es una herramienta multiplataforma para autoría de modelos computacionales que simulan sistemas de diversa naturaleza (físicos, sociales, etc.). *Agentsheets* usa programación visual de objetos con comportamiento (agentes), lo que simplifica grandemente la tarea de modelar, probar, ajustar y utilizar los simuladores creados. Se ha pro-

¹⁰² <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/index.php>

¹⁰³ <http://www.agentsheets.com>

bado exitosamente en construcción de simuladores de ciencias sociales y naturales en todos los niveles. Es posible instalar una versión de prueba con clave por diez días, y prepararse para su uso mediante cualquiera de las ayudas en línea del sitio web (manuales, tutoriales en video, preguntas frecuentes, libros sobre simulación).

MATLAB¹⁰⁴ Se trata de una de las herramientas de simulación, análisis y diseño más utilizadas en ingeniería. Se compone de un núcleo que es capaz de trabajar con un lenguaje de programación orientado objetos, con bibliotecas poderosas para el manejo vectorial de información, así como para producir interfaces y gráficos de gran complejidad, incluyendo animación. Igualmente cuenta con una biblioteca de manejo numérica para los diferentes campos de la ingeniería incluyendo la estadística, el tratamiento de información y de imágenes, la solución de ecuaciones diferenciales, entre otros. Sobre esta plataforma básica se desarrollan paquetes complementarios, llamados cajas de herramientas ("toolbox") las cuales responden a múltiples necesidades. Una de estas cajas de herramientas montadas sobre MATLAB es SIMULINK, una poderosa herramienta de simulación la cual se trabaja y programa utilizando una interfaz que maneja objetos gráficos. A su vez, un número importante de cajas de herramientas corren sobre SIMULINK.

7.5 Acerca de la PIOL y de la A

Herramientas como las ilustradas en las primeras cuatro categorías de la PIOLA son en su mayoría de final abierto, es decir, el conocimiento que se puede desarrollar o recrear con ellas no está predeterminado por el autor de las mismas. Incluso las herramientas para explorar conjeturalmente objetos de estudio se prestan a que sea el aprendiz quien cree su propio modelo mental de lo que explora, cuando no las usa para demostrar el conocimiento subyacente a un campo, sino para indagar y construirlo. Esto no siempre sucede con otras oportunidades

¹⁰⁴ <http://www.mathworks.com/>

de las TIC en que el conocimiento está articulado y es posible tener respuestas directas a inquietudes del alumno. La indagación por respuestas directas es un elemento predominante en las TIC tipo A, como analizaremos a continuación.

8. TIC para ampliar el acervo cultural, científico y tecnológico

Las herramientas tipo A le permiten al docente aprender a lo largo de la vida mediante consulta en fuentes digitales disponibles en Internet que dan acceso al acervo de la humanidad. Estas fuentes digitales pueden ser globales, organizacionales o locales.

La gente suele asociar el concepto de Internet con una gran colección de información multimedial, distribuida a lo largo y ancho del planeta en repositorios de distinta índole y con diversos niveles de privacidad, a disposición de los navegantes de la red mundial de computadores. Por este motivo Internet también se relaciona con búsquedas en la red, con navegación por distintos sitios donde hay información digital y con la necesidad de discernir sobre la conveniencia de aprovechar las oportunidades que hay para usar o compartir el material de la red.

En otra magnitud, sucede lo mismo con las Intranet (redes internas de una organización, en las que sólo los usuarios autorizados tienen acceso a servicios privados de información y comunicación) y con las redes locales (un conjunto de computadores interconectados que cuentan con un servidor de recursos digitales).

En estos tres dominios, global, organizacional y local, es posible compartir y enriquecer el acervo cultural, científico y tecnológico mediante el uso de TIC. Algunos ejemplos nos ayudan a entender de qué se trata y el potencial existente para que los docentes se mantengan al día en los temas que más les interesan y lideren procesos semejantes con sus estudiantes.

8.1 Motores de búsqueda y navegación por etiquetas digitales

Todos los navegadores de Internet suelen tener sus propios sistemas y funciones de búsqueda (en Inglés, search), y desde cualquiera de ellos

es posible tener acceso al motor de búsqueda preferido, digitando la dirección electrónica respectiva. Esto no es difícil. Lo retador es hallar con efectividad la información que se necesita. Ante todo esto exige saber qué es lo que uno desea y el motor de búsqueda que más le conviene. Mucha gente usa el motor de búsqueda que tiene a la mano en su navegador de Internet, lo cual no siempre es lo más adecuado. Más allá de saber discernir cuándo usar qué, hay que saber refinar los resultados, pues difícilmente uno logra revisar todos los registros que arroja una búsqueda gruesa. Refinar una búsqueda en la red es una habilidad fundamental para educadores y estudiantes, toda vez que exige claridad sobre lo que se quiere, capacidad de expresar de múltiples maneras lo que se busca, navegar por diversidad de sitios y marcar los que resultan interesantes, e igualmente discernir si lo hallado agrega valor a lo que se sabe o se acerca o aleja de lo que quiere resolver.

Las búsquedas generales pueden hacerse con herramientas generales, como YAHOO o GOOGLE. Pero cuando uno necesita explorar en ciertas colecciones, es mejor usar exploradores especializados, como por ejemplo GOOGLE ACADEMICO¹⁰⁵ que sabe indagar documentos o sitios con valor académico, usualmente fruto de investigación o de proyectos educativos. Pero si lo que uno busca son fotos o imágenes, es preferible hacer uso de FLICKR¹⁰⁶ un sistema puesto a punto por Yahoo, o de GOOGLE IMAGES¹⁰⁷ que sabe indagar por información gráfica ligada a descriptores. Quienes buscan presentaciones digitales pueden encontrar en SLIDESHARE¹⁰⁸ un poderoso aliado. Los archivos de los periódicos suelen ser otra fuente clave de información digital, pero no todos los tienen disponibles.

Otra manera de buscar información por la red es a partir de nubes de etiquetas, como las que ofrece DEL.ICIO.US¹⁰⁹ a nivel global o de cada uno de los sitios web que crean sus usuarios. Cada nube muestra las etiquetas usadas en esa colección así como la mayor o menor disposición de

¹⁰⁵ <http://scholar.google.es/>

¹⁰⁶ <http://www.flickr.com/>

¹⁰⁷ <http://images.google.es/>

¹⁰⁸ <http://www.slideshare.net/>

¹⁰⁹ <http://del.icio.us/tags>

referencias, dependiendo del tamaño e intensidad de color de cada uno de los elementos. Al navegar uno por la nube (oprimir alguno de sus elementos) abre camino a nuevas relaciones que subyacen a los documentos que tienen como referente el elemento escogido.

8.1 Enciclopedias digitales

Las *enciclopedias digitales* son quizás el tipo de aplicación más consultado por estudiantes y docentes cuando tratan de “investigar” acerca de algún tema de interés o resolver alguna duda o inquietud accediendo a una buena fuente. A través de ellas se tiene acceso a una colección organizada de información por la que se puede navegar valiéndose de palabras claves, descriptores, clasificadores y expresiones. La interfaz hombre-máquina de las enciclopedias suele ser intuitiva, lo cual no significa que no haga falta pericia para indagar y refinar las búsquedas. Los resultados pueden arrojar múltiples registros, con información textual, gráfica, sonora, multimedial, así como enlaces a documentos, sitios web e incluso a programas ejecutables.

Algunas enciclopedias digitales en español

Por ejemplo, si usted busca “enciclopedia” en *Google*, con la opción en español, posiblemente llegue a sitios como los siguientes:

Enciclopedia MSN ENCARTA¹¹⁰ con informaciones, artículos, atlas y juegos. Requiere suscripción pagada.

WIKIPEDIA¹¹¹ es una enciclopedia gratis y de construcción colaborativa, que permite la edición de sus contenidos por parte de cualquier usuario desde un navegador web.

ENCICLONET¹¹² brinda acceso gratis a artículos sobre distintas ramas del conocimiento. Requiere registro.

La ENCICLOPEDIA LIBRE UNIVERSAL EN ESPAÑOL¹¹³ es un proyecto universitario para desarrollar a través de Internet una enciclopedia de calidad, abierta y gratuita.

¹¹⁰ <http://es.encarta.msn.com/>

¹¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

¹¹² <http://www.enciclonet.com/portada>

¹¹³ <http://enciclopedia.us.es>

MEDLINE¹¹⁴ incluye artículos acerca de enfermedades, exámenes, síntomas, lesiones y procedimientos quirúrgicos. Contiene una colección extensa de fotografías médicas e ilustraciones.

Es interesante observar que algunas enciclopedias reciben contribuciones, lo cual las convierte no sólo en repositorios para consulta de información sino en sitios de recepción y organización de información, siguiendo procedimientos y estándares definidos por la administración del sistema respectivo.

Algunas enciclopedias digitales en otros idiomas

Otras enciclopedias y bibliotecas digitales que pueden ser interesantes para quienes leen en inglés, son las siguientes:

*NSDL – National Science Digital Library*¹¹⁵ es una biblioteca digital estadounidense, creada para apoyar educación e investigación en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas. Ofrece acceso gratuito a materiales digitales para docentes de educación elemental, básica y universitaria, bibliotecólogos, la comunidad científica y novatos en el tema.

*EET - The Encyclopedia of Educational Technology*¹¹⁶ incluye una colección multimedia de artículos cortos sobre diseño de instrucción, educación y entrenamiento. Es gratis.

*WEBOPEDIA*¹¹⁷ es un diccionario y motor de búsqueda especializado en conceptos relacionados con computadores e Internet. Gratis.

APOD – Astronomy Picture of the Day—¹¹⁸ es un sitio gratis en el que cada día se presenta una imagen distinta del universo, con comentarios explicativos y enlaces a sitios donde se puede ampliar información sobre lo que se observa. Incluye enlaces a todas las fotos de cada día desde el 16 de junio de 1995. Hay sitios web que reproducen esta

¹¹⁴ <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/encyclopedia.html>

¹¹⁵ <http://nsdl.org/>

¹¹⁶ <http://coe.sdsu.edu/eet/>

¹¹⁷ <http://www.webopedia.com/>

¹¹⁸ <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap030426.html>

colección, en distintos idiomas; desafortunadamente aún no hay uno con las explicaciones en español.

8.2 Servicios de información digital por demanda

Una aproximación complementaria a las anteriores para mantenerse actualizado en ciertos temas es el de suscripción a *servicios de información digital* cuyo contenido se consulta por demanda.

Listas de interés

Muchos sitios web tienen boletines periódicos a los que uno puede suscribirse anotando su dirección de buzón electrónico, de modo que cuando hay novedades, el suscriptor recibe un correo electrónico y, si el contenido le interesa, a través de un enlace va al sitio web donde se ha dado la novedad informativa. El suscriptor puede responder a la lista de interés y dar a conocer su opinión. Es una buena manera de mantenerse actualizado acerca de eventos, publicaciones o novedades en un área de interés. Tiene la desventaja de que el buzón electrónico puede llenarse más de lo deseado, si uno se ha suscrito a muchas listas o si la periodicidad de las notificaciones es muy alta.

Canales de RSS

Otra posibilidad es la *suscripción a sistemas activos de información* (canales) que usan formato RSS (sigla en inglés de *Really Simple Syndication*), un formato basado en lenguaje XML para la distribución de contenidos. Los *canales RSS* se pueden consultar haciendo uso de sistemas de alimentación de información (feeds, lectores de fuentes de RSS) que permiten recibir novedades sin tener que navegar por la red ni llenar el buzón de correo electrónico. Por ejemplo, BLOGLINES¹¹⁹ es un servicio gratuito que permite mantenerse al día con sus blogs y canales de noticias favoritos. FEEDREADER¹²⁰ es un software libre, bajo licencia GPL, que permite suscribir y clasificar canales RSS. La ventaja es que no hay que buscar novedades, el canal RSS las trae. La desventaja es que el

¹¹⁹ <http://www.bloglines.com/>

¹²⁰ <http://www.feedreader.com/>

usuario puede saturarse de información cuando se suscribe a canales que se actualizan muy frecuentemente (por ejemplo noticias públicas) o que recogen información de muchas fuentes (como los servicios de noticias abiertos), amén de que no es un sistema de comunicación de doble vía.

8.3 Diccionarios, traductores y tesauros

Los *diccionarios*, los *traductores* y los *tesauros* son otro grupo de TIC tipo A que tiene mucha utilidad para educadores y estudiantes. Grupos especializados han dado al servicio público sus bases de conocimiento y han hecho posible que las consultas en español, u otros idiomas, se resuelvan con mucha eficacia. Los siguientes sitios web son una pequeña muestra.

La RAE *Real Academia Española*¹²¹ ha puesto a disposición del público la vigésima segunda edición de su diccionario y una variedad de servicios de consulta.

EL CASTELLANO¹²² ofrece material útil para usar bien el castellano y artículos relacionados con la defensa del idioma. Un servicio muy interesante es “La palabra del día”, que consiste en recibir diariamente en el correo electrónico una palabra del idioma con su significado, origen e historia.

WORDREFERENCE.COM¹²³ ofrece diccionarios en línea gratis. Para español, hay un diccionario monolingüe, de español a inglés, francés o portugués, así como sinónimos/antónimos.

BABEL FISH TRANSLATION¹²⁴ es un servicio gratuito de Altavista que permite traducción a español de párrafos o páginas web de muchos idiomas. La traducción es eminentemente literal pero puede sacar de un apuro. Igualmente se puede acceder a REVERSO¹²⁵, que ofrece los mismos servicios de traducción en línea.

¹²¹ <http://www.rae.es>

¹²² <http://www.elcastellano.org>

¹²³ <http://wordreference.com/es/index.htm>

¹²⁴ <http://babelfish.altavista.com>

¹²⁵ <http://www.reverso.net>

VISUAL THESAURUS¹²⁶ es un concepto diferente de ayuda en línea para quienes desean visualizar las distintas acepciones de los términos en inglés u otros idiomas. Tiene un demo y se pueden comprar licencias individuales o grupales, para uso local o en la red.

8.4 Portales educativos

Las TIC tipo A también incluyen *portales corporativos al servicio de la educación*. Son sitios en la red que buscan apoyar la labor de distintos estamentos del sector educativo, brindándoles acceso a información y herramientas relevantes para cada uno de los grupos a los que sirven. Los docentes pueden hallar en los portales educativos valiosos recursos para su desarrollo profesoral y para apoyar la actividad centrada en los estudiantes. La naturaleza de la organización que los auspicia suele dar el toque especial a cada portal, como lo mostrarán los siguientes ejemplos.

PCA *Portal Colombia Aprende*¹²⁷. Es el sitio web creado por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia para apoyar a directivos y docentes, estudiantes, padres de familia y comunidad de los distintos niveles del sector educativo, así como a investigadores en educación superior. Cada grupo de usuarios tiene su propio escritorio digital, donde se organizan recursos relevantes. Los suscriptores pueden usar herramientas de comunicación (correo electrónico, foros, chat) y de espacio virtual privado (disco duro digital) para almacenar recursos digitales.

PEC *Portal Educar Chile*¹²⁸. Es el sitio web del sistema de educación de Chile. Está organizado por escritorios según tipo de usuario (docente, directivo, estudiantes, familia, investigador); cuenta con variedad de recursos localizables por escritorios, categorías o buscadores. Quienes se registran para uso del portal tienen acceso a disco duro digital y correo personal gratuito; pueden crear sitios web que queden alojados en el portal y participar en foros y chat en espacios del portal.

¹²⁶ <http://www.visualthesaurus.com>

¹²⁷ <http://www.colombiaprende.edu.co>

¹²⁸ <http://www.educarchile.cl/home>

EDUC.AR¹²⁹. Es el portal educativo del estado argentino. Está organizado en cinco escritorios: institucional, recursos educativos, innovación docente, alfabetización digital, y servicios. *Los recursos educativos* se estructuran por áreas de contenido y nivel, e incluyen enlaces a recursos digitales para docentes y estudiantes. Los *servicios de información* diseminan oportunidades en distintos dominios para los suscriptores; los hay que requieren navegación por el sitio y también por suscripción a boletines o a canales de recepción especializada (RSS); incluyen herramientas de correo, chat y blogs. Los *espacios de innovación* docentes son foros del tipo “grupos de interés”, para debatir temas relevantes para los educadores, moderados por líderes en los temas.

EDUTEKA¹³⁰. Es un portal educativo gratuito, actualizado quincenalmente, que ofrece centenares de recursos propios y numerosos enlaces a otros sitios valiosos para los educadores de básica y media. La gran mayoría de los contenidos se concentra en el tema misional de Eduteka: recursos teóricos y prácticos que ayudan a enriquecer los ambientes de aprendizaje escolar con el uso de las TIC. Para facilitar el hallazgo de contenidos específicos, además del diseño gráfico interactivo, Eduteka ofrece 4 mecanismos: 1) Un directorio con 13 categorías temáticas y más de 150 subcategorías; 2) Un buscador interno con tecnología Google que se encuentra ubicado en todas las páginas, justo debajo del cabezote de Eduteka; 3) Un archivo histórico clasificado y 4) el Tour de Eduteka.

BV *Bibliotecas virtuales*¹³¹. Forma parte de la red de portales CIVILA. Es gratuito y ofrece en su sala de lectura una selección de los textos completos de novelas, cuentos, obras de teatro, biografías, ensayos, artículos, fábulas, poesías, leyendas y textos literarios, en especial de Iberoamérica. También tiene una sala de interacción, en la que se reúnen comunidades virtuales de escritores y lectores.

¹²⁹ <http://www.educ.ar/educar/index.jsp>

¹³⁰ <http://www.eduteka.org>

¹³¹ <http://www.bibliotecasvirtuales.com>

Educar.org & eAprender.org¹³². Es otro de los portales gratuitos de la red CIVILA. Incluye un escritorio con contenido educativo, organizado bajo el tema de “aprendizaje divertido” y otros dos para interacción entre miembros de “comunidades virtuales”, uno de ellos organizado en forma temática y el otro, regionalmente, por países o zonas geográficas.

XPLORA¹³³. Es el portal europeo para apoyar educación en ciencias. Es gratuito y se presenta en tres idiomas: inglés, francés y alemán. Ofrece noticias e ideas pedagógicas para docentes de ciencias. Da acceso a una base de datos con recursos digitales para educación en ciencias. Abre la puerta a proyectos y enfoques innovadores para la enseñanza práctica de las ciencias. Permite a los usuarios registrados crear y participar en comunidades virtuales.

MERLOT¹³⁴ *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching*, es un portal Americano donde los educadores pueden hallar materiales para enseñanza y aprendizaje en línea que han sido valorados por colegas. Incluye colecciones para la enseñanza de las artes, negocios, educación, humanidades, matemáticas y estadística, ciencia y tecnología, y ciencias sociales.

La mayoría de los portales mencionados cuentan con ayudas para favorecer la navegación. Por lo general, es posible volver a la página inicial haciendo clic en el logotipo del portal o en un botón de inicio. Por otra parte, suele haber un mapa del sitio que ayuda a entender su estructura y navegar por los distintos lugares. También suelen haber buscadores internos que permiten hallar directamente lo que se desea. En algunos casos hay un sistema de ayuda que prepara para aprender a navegar por el sitio. De cualquier modo, ningún recorrido es obligatorio en el portal. El usuario controla el proceso y decide qué hacer, cómo y con qué.

¹³² <http://www.educar.org>

¹³³ <http://www.xplora.org/ww/en/pub/xplora/index.htm>

¹³⁴ <http://www.merlot.org/merlot/index.htm>

8.5 Recorridos digitales por museos y colecciones

Otra opción interesante para ampliar el acervo cultural son los "recorridos" por incontables sitios de los grandes museos del mundo o el sitio de la NASA, que permite explorar virtualmente el espacio. En lugares virtuales como estos cabe hacer "carreras digitales de observación", en las que el creador define una serie de sitios y espacios virtuales donde se deben resolver interrogantes relevantes a los participantes, y cuya solución exige prestar atención a detalles o a conceptos importantes. Estos algunos de nuestros museos y colecciones favoritas:

MUSEO DEL ORO, Bogotá¹³⁵. La riqueza de sus objetos maestros y su organización en las salas de Bogotá y las regiones, así como en las exposiciones internacionales, permiten apreciar la belleza y la riqueza de nuestra herencia cultural, así como el contexto físico e histórico en el que se generaron dichas piezas. En la sala de exposiciones virtuales es posible darse una inmersión en los objetos del pasado prehispánico de Colombia. Los niños y los educadores tienen páginas especiales para profundizar.

MUSEO DEL LOUVRE, París¹³⁶. Uno de los museos más espectaculares del mundo, con un sitio web también único. Vale la pena visitarlo más de una vez y con intención de explorar distintas colecciones. No deje de hacer un tour guiado y en español por este maravilloso museo, use los ojos de su avatar para recorrer cada una de sus salas y colecciones¹³⁷.

MUSEO DEL PRADO, Madrid¹³⁸. Conozca sus obras maestras y las explicaciones que se dan de ellas, así como las colecciones y exhibiciones. Invite a los niños a pintar, armar rompecabezas, memorizar y diferenciar objetos. Participe en las actividades educativas y de investigación que propone el museo.

¹³⁵ <http://www.banrep.gov.co/museo/esp/home.htm>

¹³⁶ <http://www.louvre.fr/llv/commun/home.jsp?bmLocale=en>

¹³⁷ <http://dejameser.wordpress.com/2007/10/11/un-paseo-virtual-por-el-louvre/>

¹³⁸ <http://museoprado.mcu.es/index.php?id=50>

MUSEOS SMITHSONIANOS, Washington¹³⁹. Son el complejo de museos y centros de investigación más grande del mundo, compuesto por 19 museos y 9 centros de investigación, más el Zoológico Nacional. Al visitarlos en la red y explorar las colecciones que tiene cada uno se puede apreciar por qué esta serie de museos representa para muchos la oportunidad de conocer los tesoros de nuestro pasado, el arte vibrante del presente y la promesa científica del futuro.

NASA¹⁴⁰. Un portal con múltiples posibilidades para explorar y conocer acerca de nuestra galaxia, las herramientas para conquistarla, la ciencia y tecnología al servicio de las misiones y de los estudios que se hacen sobre los hallazgos en ellas. Incluye un portal en español con acceso a múltiples recursos que pueden motivar a futuros científicos e ingenieros a participar en ciber-excursiones y en trabajos de investigación muy variados, sobre tecnologías muy avanzadas que se están sometiendo a prueba y sobre fenómenos que aún no se comprenden.

NATIONAL GEOGRAPHIC¹⁴¹. Déjese sorprender por los múltiples objetos de estudio curiosos que incluyen las colecciones sobre animales, medio ambiente, música, gente y lugares, mapas, ciencia y espacio, así como especiales. Vídeos, fotos, reportajes y actividades le permitirán disfrutar al tiempo que aprende sobre temas excitantes y variados. Hay una página especial para niños¹⁴² en la que aprender haciendo y en forma divertida son las constante.

8.6 De la P a la A de la PIOLA y la formación en TIC de educadores

Ahora que hemos cerrado el recorrido por la PIOLA en el sentido natural de las letras que componen el acrónimo podrá el lector entender por qué sugerimos que podría haber más de una manera de apropiarse oportuna

¹³⁹ <http://www.si.edu/museums/> y <http://www.si.edu/guides/spanish.htm> en español

¹⁴⁰ <http://www.nasa.gov/home/index.html> y su página en español http://www.nasa.gov/about/highlights/En_Espanol.html

¹⁴¹ <http://www.nationalgeographic.com/>

¹⁴² <http://kids.nationalgeographic.com/>

tunidades como las que nos ofrece cada letra de la PIOLA. En el caso particular de formación informática para educadores de ingeniería, esta es mi sugerencia:

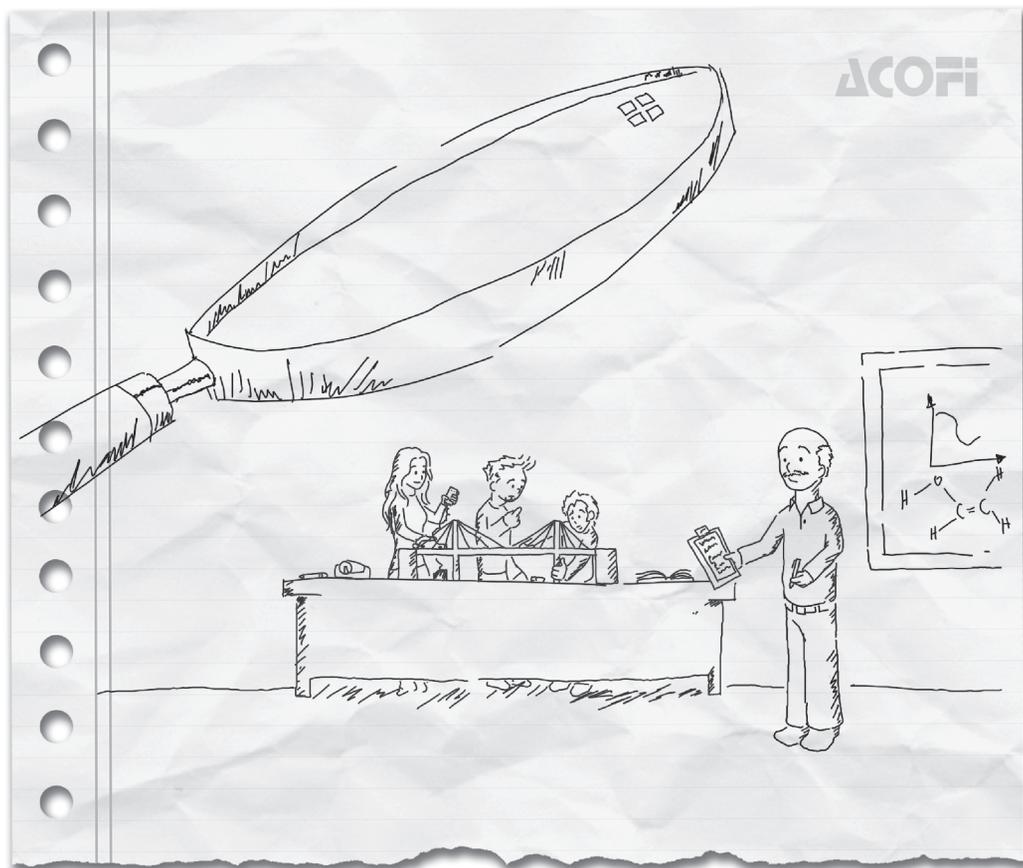
- Para favorecer ganancia en habilidades y conocimientos de interés personal, independientemente de que uno sea o no educador: apropiar recursos de la “P” y de la “A”. Los primeros le dan oportunidad de simplificarse la vida y amplificar lo que uno hace, los segundos le dan acceso a múltiples oportunidades de estar informado.
- Para favorecer que uno repiense la manera como enseña y complementa el enfoque tradicional, centrado en el profesor, con enfoques centrados en la interacción entre alumnos: recursos de la “I”.
- Para favorecer integración de TICs exploratorias en las actividades docentes, propiciando un enfoque centrado en la actividad del alumno, indagación y reflexión: recursos de la “O” y de la “L”.

9. Referencias

- Dwyer, T. (1974). Heuristic Strategies for Using Computers to Enrich Education. *International Journal of Man-Machine Studies*, 6.
- Galvis, A. H. (1997). Estrategia de negocio e informática: Articulación e integración. In A. H. Galvis & A. Espinosa (Eds.), *Estrategia, Competitividad e Informática* (pp. 209-240). Bogotá, DC.: Ediciones Uniandes.
- Galvis, A. H. (1998a). Ambientes Virtuales para Participar en la Sociedad del Conocimiento. *Revista de Informática Educativa*, 11(2), 247-260.
- Galvis, A. H. (1998b). Educación para el Siglo XXI apoyada en ambientes educativos interactivos, lúdicos, creativos y colaborativos. *Revista de Informática Educativa*, 11(2), 169-192.
- Galvis, A. H. (2006). *Desarrollo profesional docente con apoyo de tecnologías de información y comunicación, Marco Conceptual, Versión 1.0*. Bogotá, DC: Metacursos, estudio realizado para el Ministerio de Educación Nacional, Alianza por la Educación MEN-Microsoft.
- Galvis, A. H. (2007a). *Diseño de dotación de medios y tecnologías de información, equipos y herramientas, para las distintas modalidades de educación*

- media en los municipios no certificados del Departamento de Antioquia (Informe No. TIC 3). Bogotá: Consultoría en TIC, Proyecto Mejoramiento de la Calidad de la Educación Media, SEDUCA.
- Galvis, A. H. (2007b). *Informe final Proyecto CONGENIA--CONversaciones GENuinas sobre temas Importantes para el Aprendizaje*. Westford, MA: Metacursos, informe al MEN.
- Galvis, A. H. (2007c). *Recomendaciones sobre las condiciones de uso de medios y tecnologías de información y comunicación (TIC) y sobre formación de agentes educativos para el uso de TIC en instituciones de educación media del Departamento de Antioquia* (Informe No. TIC 4). Bogotá, DC: Consultoría en TIC, Proyecto de Mejoramiento de la Educación Media en el Departamemto de Antioquia, SEDUCA.
- ISTE International Society for Technology in Education. (2002). *NETS for Teachers*. Retrieved September 4, 2003, from <http://cnets.iste.org/teachers/index.shtml>
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (1994). *The New Circles of Learning: Cooperation in the Classroom and School*. Alexandria, Va.: Association of Supervision and Curriculum Development.
- MEN - Grupo de TIC. (2007). *A Que Te Cojo Ratón: Competencias y estándares del momento de iniciación*. Bogotá, DC: email de Fernando Díaz del Castillo a Alvaro H Galvis.
- Papert, S. (1996). *The Connected Family: Bridging the Digital Generation Gap*: Longstreet Press, Inc.
- Piaget, J. (1972). *The principles of genetic epistemology*. New York: Basic Books.
- Proyecto ENLACES - MEN Chile. (1999). *Trabajos colaborativos*. Unpublished manuscript, Temuco.
- Snow, R. E., & Peterson, P. L. (1980). Recognizing Differences in Student Aptitudes. In W. J. McKeachie (Ed.), *Learning, Cognition, and College Teaching* (pp. 1-24). San Francisco, CA: Jossey Bass.
- UNESCO. (2004). *Las Tecnologías de Información y la Comunicación en la Formación Docente*. Montevideo, Uruguay: Ediciones TRILCE.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Zea Restrepo, C. M., Atuesta, M. d. R., Vélez, A., González, M. A., Montoya, J., Urrego, I., et al. (2003). *Conexiones, Informática y Escuela: Un enfoque global*. Medellín: Universidad Eafit, Línea I+D Informática Educativa.

Sección 4. | *Cómo saber cómo vamos - la evaluación*



Evaluando las innovaciones instruccionales en la enseñanza de la ingeniería

Por: María Aracely Ruiz-Primo, Universidad de Colorado, Denver, EEUU; con Derek Briggs, Lorrie Shepard, Heidi Iverson, & Marie Huchton, Universidad de Colorado, Boulder, EEUU

1. Introducción

Un retrato común de la *enseñanza universitaria tradicional* de disciplinas científicas, tales como biología, física, ingeniería, química, y matemáticas, muestra, por lo general, a un profesor dando cátedra enfrente de una gran audiencia de decenas e incluso centenas de estudiantes. Los estudiantes escuchan al profesor, resuelven los problemas de su libro de texto, y tienen una sesión de laboratorio en donde siguen procedimientos como seguir recetas de cocina, paso a paso (Stokstad, 2001; Strassenburg, 1987; Zollman, 1996).

La efectividad de este tipo de enseñanza ha sido cuestionada en las últimas dos décadas por más de una razón. Hay evidencia empírica de que lo “aprendido” por los estudiantes en este tipo de curso es olvidado muy rápidamente (e.g., Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes, 1998; Mazur, 1997; McDermott & Redish, 1999; McDermott, Shaffer, & Somers, 1994; Thacker, Kim, Trefz, & Lea, 1994). A pesar de que los estudiantes realizan actividades y conducen experimentos, no desarrollan un entendimiento profundo de los conceptos que se suponen tienen que aprender en las sesiones de laboratorio. Más aún, hay evidencia de que aunque los estudiantes sepan resolver ecuaciones, pocos pueden aplicarlas en contextos cotidianos y/o diferentes a los que se utilizaron en el salón de clases (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes, 1998; Mazur, 1997; Poole & Kidder, 1996). Las estadísticas, al menos en los Estados Unidos, revelan una tasa alta de deserción en cursos relacionados con la ciencia; peor aún, los estudiantes desarrollan una actitud negativa hacia estos cursos y hacia la ciencia (e.g., McDermott, 1991; Seymour & Hewitt, 1997). Finalmente, al menos en Estados Unidos, hay una presión de las agencias de acreditación a las universidades por proveer evidencia de que los

estudiantes están aprendiendo algo de los cursos ofrecidos en la universidad (e.g., ABET, Inc. anteriormente Accreditation Board for Engineering and Technology; Shavelson, Ruiz-Primo, & Naughton, 2006).

En un intento por mejorar el aprendizaje de los estudiantes y de incrementar su interés por elegir disciplinas científicas tales como la física, ingeniería, o matemáticas¹⁴³, algunos profesores, departamentos, e incluso universidades están tomando acciones para transformar la enseñanza tradicional de la ciencia a un tipo de enseñanza en la cual los estudiantes sean más activos y estén más involucrados en su aprendizaje (McDermott & Redish, 1999; Zollman, 1990, 1996). Este movimiento ha tenido efectos positivos. Por ejemplo, desde principios de los '90s algunas agencias federales en los Estados Unidos, tales como la Fundación Nacional de la Ciencias - NSF¹⁴⁴ (por sus siglas en inglés), han proporcionado financiamiento a profesores y departamentos (Suter & Narayama, 2006) para diseñar e implementar transformaciones a los cursos de ciencias que ayuden a mejorar el aprendizaje de los estudiantes, así como su actitud hacia la ciencia (e.g., Hilton, 2002; Hestenes, 1992, 2000; Rebello, 1999, 2000; Redish, 2000; Tien, Roth, & Kampmeir, 2002; Zollman, 1990, 1997). Este apoyo económico y el interés en la comunidad por transformar la enseñanza tradicional de la ciencia han multiplicado, sin duda, el uso de diferentes transformaciones en diferentes disciplinas. La pregunta crítica es si todas estas transformaciones están teniendo el impacto esperado.

A finales de 2006, NSF financió el proyecto, *Innovaciones Instruccionales en Cursos de Ciencia en Licenciatura y su Impacto en el Aprendizaje de los Estudiantes*¹⁴⁵ cuyo objetivo, entre otros, es la evaluación rigurosa de los reportes en los que se describe el uso de transformaciones instruccionales en diferentes disciplinas, incluyendo la ingeniería¹⁴⁶. Una parte

¹⁴³ En los Estados Unidos se ha llamado "STEM - Science, Technology, Engineering, and Mathematics" al conjunto de disciplinas que se han constituido como el objetivo para incrementar la inscripción de estudiantes. En español podría traducirse como CTIM - Ciencia, Tecnología, Ingeniería, y Matemáticas.

¹⁴⁴ National Science Foundation-NSF

¹⁴⁵ El nombre del proyecto en inglés es, *Undergraduate Science Course Innovations and Their Impact on Student Learning*. El proyecto también incluye el estudio del impacto de las transformaciones en variables de tipo afectivo como las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia.

¹⁴⁶ Es importante mencionar que el proyecto está actualmente analizando los reportes y, por lo tanto, la información presentada en este capítulo es parcial, incompleta, y puede estar sujeta a modificaciones.

fundamental del proyecto es conducir un meta-análisis de los estudios que se han llevado a cabo para estudiar los efectos de las transformaciones en el aprendizaje de los estudiantes¹⁴⁷. Uno de los productos de este proyecto será la integración, síntesis, e interpretación de estos efectos, para cada disciplina estudiada, con base en un conjunto de estudios seleccionados por sus características conceptuales y metodológicas.

Este capítulo describe de manera parcial, y muy general, la aproximación que se está utilizando para llevar a cabo la evaluación de estos reportes en el proyecto mencionado. El capítulo tiene tres propósitos: (1) presentar argumentos que ayuden a comprender la necesidad de estudiar estas transformaciones instruccionales de manera sistemática y con marcos de referencia conceptual y metodológicamente correctos, (2) presentar una caracterización de las diferentes transformaciones que se han encontrado en los diversos reportes en las cuatro disciplinas estudiadas: biología, física, ingeniería, y química, y (3) proponer ideas que puedan ayudar a diseñar estudios conceptual y metodológicamente apropiados.

El capítulo está dividido en cuatro partes. La primera provee un marco conceptual y metodológico para evaluar la eficacia de las transformaciones instruccionales junto con argumentos que ayuden a entender la necesidad de dichos marcos. La segunda presenta una caracterización de las transformaciones instruccionales encontradas en reportes en las cuatro disciplinas. La tercera presenta algunos resultados de la aplicación parcial de los marcos de referencia propuestos en el área de la física. La última parte presenta algunas sugerencias para mejorar el estudio de innovaciones instruccionales en ingeniería.

2. Un marco conceptual y metodológico para evaluar la evidencia de la eficacia de las innovaciones instruccionales

En el proyecto UCI¹⁴⁸ llamamos al conjunto de estrategias usadas en las transformaciones de los cursos de ciencia *innovaciones instruccionales*.

¹⁴⁷ Meta-análisis es un término utilizado para referirse a todos los métodos y técnicas estadísticas para sintetizar el impacto de intervenciones de varios estudios que puedan considerarse conceptualmente comparables.

¹⁴⁸ Por su nombre en inglés lo hemos denominado "UCI Project" - Undergraduate Course Innovations.

Elegimos este nombre por dos razones: Innovación es un término que puede abarcar una diversidad de estrategias y, por lo tanto, no ha estado asociado a ninguna estrategia específica. Además, el término innovación implica la idea de un cambio planeado a través del estudio y la experimentación.

Para saber que las innovaciones instruccionales pueden producir los resultados esperados deben de tener un fundamento teórico más que un fundamento meramente intuitivo o anecdótico (e.g., “X actividad parece funcionar bien” “A los alumnos les gusta mucho hacer X”). Cualquier innovación debería estar ligada con los principios del aprendizaje que se ha demostrado son críticos para un aprendizaje significativo y transferible de acuerdo con la investigación en psicología cognitiva y educativa (Bransford, Brown, & Cocking, 1999).

Es claro que hacer explícito el fundamento teórico de las innovaciones no solamente ayuda a esclarecer la naturaleza de la innovación, sino también ayuda a tener claridad de sus características críticas, y de los resultados que pueden esperarse de ellas. Utilizar una innovación sin saber por qué funciona (o debe de funcionar) tiene al menos dos implicaciones: (1) la implementación mecánica de la innovación sin conocer qué componentes son los críticos para que ésta tenga el impacto esperado, y (2) el alto riesgo, por consiguiente, de una implementación con poca fidelidad. Estas dos implicaciones, como consecuencia, pueden reducir la efectividad de la innovación.

Una manera de ejemplificar estas dos implicaciones es analizar una de las transformaciones altamente citadas en los reportes: aprendizaje activo (“active learning”). Aprendizaje activo se ha utilizado para referirse a cursos en los cuales los alumnos realizan actividades relacionadas con el curso, ya sea individualmente o en grupos pequeños, que pueden ir desde contestar preguntas, aplicar procedimientos aprendidos, o proporcionar posibles soluciones, hasta interpretar observaciones o datos experimentales, estimar o predecir; en suma, los estudiantes hacen algo más que únicamente escuchar al profesor dictando cátedra (Felder, 2006). ¿Cuál es la fundamentación teórica de esta transformación en los cursos de ciencias, especialmente en ingeniería?

El término *aprendizaje activo* está tomado de la psicología educativa y cognoscitiva. Es un término ligado a actividades que ayudan al estudiante a tomar control sobre su aprendizaje (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). Los resultados en la investigación acerca del aprendizaje han enfatizado la importancia de que los estudiantes puedan reconocer lo que entienden y lo que no, y cuándo necesitan de más información para entender mejor un contenido específico. Muchas de las actividades críticas que ayudan al aprendizaje activo se han estudiado en psicología cognitiva bajo el rubro de “metacognición” - la habilidad de las personas para monitorear y regular su nivel actual de comprensión y ejecución, y de predecirla en diversas tareas (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). ¿Qué estrategias pueden ayudar a los estudiantes a reconocer si entienden o no el significado de lo que otros dicen, escriben, o explican? Desde el punto de vista de la enseñanza, una aproximación congruente con el aprendizaje activo debe ser congruente con una aproximación metacognitiva del aprendizaje que involucre ayudar a los estudiantes a “hacer sentido” de lo que leen, escuchan, y observan, a autoevaluarse, a reflexionar acerca de lo que les funciona o no, y a buscar estrategias para mejorar su comprensión y ejecución. Hay evidencia de que estas prácticas incrementan no sólo el aprendizaje, sino la transferencia del mismo en nuevos contextos y eventos (Palincsar & Brown, 1984; Scardamalia et al., 1984). La importancia de la autorregulación es tal, que se ha considerado uno de los principios fundamentales del aprendizaje (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). La discusión de las condiciones para que este principio se implemente en el salón de clases escapa al enfoque de este capítulo, pero son, sin duda, importantes de considerar cuando se habla de aprendizaje activo en el contexto de la enseñanza de cualquiera de las disciplinas consideradas bajo STEM.

La pregunta crítica, ¿cuántos profesores que implementan “aprendizaje activo” conocen el fundamento teórico del mismo, y por lo tanto, implementan actividades coherentes con una aproximación meta cognitiva y auto reguladora? La respuesta es incierta por varias razones. Primero, la mayoría de los reportes analizados no proveen información suficiente acerca de la fundamentación teórica de la innovación instruccional en cuestión, cualquiera que ésta sea. Muchos reportes se limitan a frases tales como “se sabe que los grupos de trabajo pequeños

son efectivos” ó “X autores han encontrado que la implementación de grupos pequeños es efectiva” (con excepciones, Heller & Hollabaugh, 1992).

Segundo, la mayoría de los reportes analizados no proveen información suficiente acerca de las características críticas de la innovación en cuestión. El lector difícilmente puede saber cuáles son los componentes esenciales de la innovación que se implementó. Por ejemplo, en un reporte acerca del uso de grupos pequeños de trabajo es difícil responder a preguntas como las siguientes, ¿Cómo se determinaron los grupos pequeños de trabajo, fue el profesor o fue autoselección? ¿Cuántos miembros tenían los grupos? ¿Hubo un entrenamiento para trabajar en grupos? ¿Los miembros del grupo sabían lo que se espera de ellos? ¿Los grupos eran heterogéneos u homogéneos con respecto a nivel de ejecución? ¿Hubo roles asignados para cada miembro del grupo? ¿Hubo monitoreo continuo de los grupos? ¿Los grupos llevaron las actividades de acuerdo con lo esperado? ¿Participaron todos los miembros del grupo en la actividad en cuestión? Pareciera ser que se da por hecho que todos los lectores tuvieran el mismo entendimiento de lo que son los grupos pequeños. Más aún, pareciera que grupo pequeños es sinónimo a aprendizaje colaborativo, o peor, a aprendizaje activo. El uso de grupos pequeños tiene toda una fundamentación teórica que pocas veces es explícita en los reportes (con excepciones, Heller & Hollabaugh, 1992).

Tercero, si la innovación en cuestión tiene el impacto esperado de acuerdo con la teoría es, en general, difícil de saber porque la mayoría de los reportes no incluyen forma alguna de medición del aprendizaje o de las actitudes de los estudiantes. Si se utilizó un instrumento para medir aprendizaje o actitudes, no hay información acerca de la calidad técnica de los instrumentos utilizados (i.e., validez y confiabilidad). Más aún, muy raramente, los reportes de innovaciones instruccionales involucran estudios en los cuales se comparen grupos “con y sin” la implementación de la innovación. Por lo tanto, muchas hipótesis alternas pueden generarse para explicar los resultados, positivos o no.

En suma, la calidad de la información de los reportes es tal que el lector difícilmente puede llegar a conclusiones acerca de qué tanto los autores

conocían los fundamentos teóricos de la innovación o si diseñaron la innovación en correspondencia con la teoría, o de cuáles fueron las características críticas de la innovación, o de qué tan válidos y confiables son los resultados presentados, si acaso se presentan cierto tipo de resultados.

2.1 Dimensión conceptual

Para evaluar una innovación instruccional se deben considerar al menos tres aspectos de tipo conceptual: ¿Cuál es la fundamentación teórica de cualquier innovación instruccional? ¿Cuáles características críticas se deben considerar en el diseño y la implementación de la innovación? Y ¿Qué impacto debe esperarse en el aprendizaje de los alumnos (o en sus actitudes), de acuerdo con la teoría?

Las respuestas a estas preguntas tienen que surgir de la investigación que se ha llevado a cabo en educación y en psicología cognitiva y de lo que ahora sabemos acerca de cómo aprende la gente. Ahora se sabe más acerca de la memoria y del papel de la estructura del conocimiento en la comprensión y el pensamiento, la importancia de la meta cognición y la autorregulación en el control del aprendizaje, el análisis de solución de problemas y razonamiento, o la ejecución de los expertos.

A partir de esta información se han propuesto tres principios fundamentales del aprendizaje: tomar en cuenta el nivel de comprensión que traen los alumnos a la clase, el papel de los marcos conceptuales y el conocimiento factual en la comprensión, y la importancia del auto-monitoreo. Estos principios se han organizado en cuatro características críticas en el diseño de ambientes en el salón de clases. Los ambientes en el salón de clases tiene que estar (Bransford, Brown, & Cocking, 1999): *centrados en el aprendiz* (se debe prestar atención a las preconcepciones y a lo que los estudiantes piensan y saben), *centrados en el conocimiento* (enfocarse en qué se enseña, por qué se enseña, y cuál es la evidencia de que algo se ha comprendido profundamente), *centrados en la evaluación* (proveer suficientes oportunidades para hacer evidente lo que los estudiantes piensan y entienden), y *centrados en una comunidad de aprendizaje* (promover una cultura en que exista el respeto para preguntar y tomar riesgos para decir lo que se piensa).

Las innovaciones instruccionales deberían estar relacionadas de alguna manera con los tres principios fundamentales del aprendizaje que se han establecido y con las características de diseño del salón de clases. Varios aspectos de las innovaciones se pueden analizar de acuerdo con estos principios y con las características de diseño. Por ejemplo, la innovación ¿puede relacionarse directamente con al menos un principio de aprendizaje y/o una característica de diseño? Usando los principios y las características de diseño del salón de clases se pueden formular varias preguntas que pueden guiar la evaluación conceptual de las innovaciones:

- ¿Cómo considera la innovación las preconcepciones y lo que los estudiantes piensan y saben?
- ¿Qué oportunidades brinda la innovación para el desarrollo de la auto-regulación o auto-monitoreo?
- ¿Qué oportunidades provee la innovación para que los estudiantes hagan explícito lo que piensan y su nivel de comprensión?
- ¿Qué oportunidades provee la innovación para que los estudiantes discutan sus concepciones con base en el razonamiento lógico y la evidencia?
- ¿Qué características tiene la innovación para ayudar a los estudiantes a formar marcos conceptuales y relacionar conceptos críticos?
- ¿Cómo apoya la innovación una comunidad de aprendizaje?
- ¿Está la innovación diseñada alrededor de lo que los estudiantes traen al salón de clases?
- ¿Está la innovación diseñada alrededor de las concepciones erróneas que los estudiantes tienen comúnmente acerca de un concepto crítico?
- ¿Qué características, de acuerdo con los principios de aprendizaje y las características de diseño del salón de clases, se requieren para que la implementación de la innovación se realice con fidelidad?

Es claro que las innovaciones instruccionales deben diseñarse con fundamentos teóricos más profundos que vayan más allá de poner a trabajar a los alumnos en pequeños grupos o llevar a cabo actividades que requieran de una ejecución más manual (“hands-on activities”), lo que realmente importa son las características de las tareas que los alumnos

realizan y qué se hace con las estrategias utilizadas por los alumnos (e.g., discusión que ponga en evidencia sus concepciones para poder ajustar la instrucción de manera adecuada).

El diseño de las innovaciones tiene además que considerar los componentes críticos de la innovación: SI A, B y C no están presentes en la tarea y si X, Y, y Z no están presentes en el salón de clases, ENTONCES no hay realmente innovación.

La identificación de los componentes críticos de la innovación incrementa no sólo la probabilidad de que la implementación de la innovación se realice con mayor fidelidad, sino la probabilidad de que el estudio de la innovación se realice más sistemáticamente. Por ejemplo, con replicaciones directas (exactamente el mismo tratamiento), o sistemáticas (variando sistemáticamente las características de los componentes críticos de la innovación) en cada ocasión que se da un curso.

2.2 Dimensión metodológica

¿Por qué investigar los efectos de las innovaciones? El diseño y la implementación de innovaciones solamente tienen sentido si hay una prueba de que tienen un impacto en el aprendizaje de los estudiantes (y/o en sus actitudes hacia la ciencia). Si las innovaciones instruccionales funcionan o no, no es una cuestión de fe, de intuición, o de ganas de que funcionen; es una cuestión de acumular evidencia de que funcionan. La historia nos ha enseñado que los efectos de una intervención no son universales; no son ciertos para todos, en todas las condiciones, para todos los tipos de personas, y en cualquier tiempo. Por lo tanto, es importante saber qué innovaciones funcionan, para quién, por qué, en qué condiciones, con cuáles componentes críticos mínimos de la intervención, y en qué tipo de resultados se observa más el impacto. El costo de saber con más certeza cuáles innovaciones funcionan es menor que los costos involucrados en la implementación de innovaciones para las cuales no existe evidencia alguna de que funcionan.

Para enseñar más efectivamente cualquier disciplina científica, es importante desarrollar una comunidad que comparta conocimientos de manera similar a cualquier comunidad científica, juzgando los

estudios con los mismos estándares, más que compartir únicamente experiencias. Desarrollar dicha comunidad requiere de los mismos instrumentos y estrategias científicos (e.g., observación y colección y análisis de datos) más que únicamente la intuición. Para mejorar la enseñanza de las ciencias es importante que los profesores vayan más allá de sus observaciones informales y consideren una perspectiva más alineada a una posición científica, indagatoria y más acorde con la naturaleza de la ciencia. Los profesores interesados en mejorar el aprendizaje de sus alumnos tienen que pensar como un científico con respecto a la docencia.

El propósito de esta sección es presentar algunas condiciones necesarias para que el conocimiento acerca de cómo mejorar la enseñanza de la ciencia esté basado en la acumulación de evidencia. Es claro que hablar ampliamente acerca de metodología está fuera de los objetivos del capítulo, por lo tanto se mencionan algunas condiciones y características generales que debieran considerarse en el estudio de las innovaciones.

La organización de esta sección sigue la lógica utilizada en el proyecto para evaluar las características metodológicas de los reportes de manera parcial: características del diseño del estudio y características de los instrumentos utilizados para medir el aprendizaje de los alumnos o sus actitudes hacia la ciencia.

Diseños de los Estudios. ¿Cómo podemos saber si las innovaciones instruccionales y el mejoramiento del aprendizaje de los estudiantes están relacionados? En muchos de los reportes analizados en el proyecto a la fecha es común encontrar estudios en los cuales se aplicó la innovación a un grupo de estudiantes y la “evidencia” presentada del impacto de la innovación son las calificaciones de los alumnos, el porcentaje de respuestas correctas en un examen, o los comentarios positivos de los alumnos (con citas textuales, ¡por supuesto!). ¿Cómo podemos concluir que la innovación fue la causa de las calificaciones o el porcentaje de respuestas correctas?

Se han considerado tres características para establecer este tipo de relaciones: (1) la causa precede al efecto, (2) la causa está relacionada al

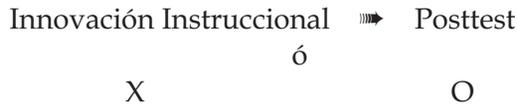
efecto, y (3) no se puede encontrar otra explicación alternativa para el efecto observado más que la causa (Shadish, Cook, & Campbell, 2002). Estas tres características son la que se intentan reflejar con los experimentos: (1) manipulamos la posible causa y observamos su efecto, el resultado, (2) vemos si la variación en la causa está relacionada con la variación en el efecto, y (3) usamos varios métodos durante el experimento para reducir la plausibilidad de otras explicaciones para el efecto observado. Es importante notar que la tercera característica es crítica para juzgar la calidad de la evidencia de un reporte.

Un experimento es un estudio en el que la intervención se introduce deliberadamente para ver su efecto (Shadish, Cook, & Campbell, 2002)¹⁴⁹. Hay varios tipos de experimentos. Los dos más conocidos son los *experimentos aleatorios* (las unidades que reciben el tratamiento o la condición alternativa se asignan aleatoriamente a las condiciones siguiendo un procedimiento), y los *quasi-experimentos* (no hay una asignación aleatoria de las unidades que reciben el tratamiento o la condición alternativa). En el estudio de las innovaciones instruccionales es posible utilizar los dos tipos de experimentos, aunque sin duda es más difícil utilizar los primeros que los segundos.

La falta de aleatorización incrementa la plausibilidad de explicaciones alternativas a los resultados. Por ejemplo, el grupo que recibe la innovación y el grupo control pueden diferir sistemáticamente de varias maneras (e.g., la clase de estudiantes que recibe la innovación pueden ser más inteligentes que los estudiantes que no la reciben) y por la tanto las diferencias entre ellos no se deben a la innovación sino a otra causa. Consecuentemente, la conclusión del efecto positivo de la innovación es cuestionable.

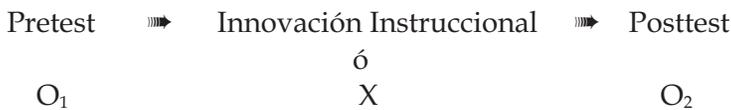
Hay varios tipos de diseños quasi-experimentales que difieren en el grado en el que reducen la plausibilidad de explicaciones alternativas a los resultado. En el ejemplo descrito anteriormente, el tipo de estudio quasi-experimental se conoce como *Diseño de un Grupo con Posttest* y se puede diagramar de la siguiente manera:

¹⁴⁹ Otras definiciones de experimento se pueden encontrar en la literatura, pero ésta se considera la más simple para los propósitos del capítulo.



En donde X es la implementación de la innovación instruccional o tratamiento, O es la observación o colección de información *después* de la implementación del innovación instruccional, el Posttest. Claramente la ausencia de un pretest (observación o colección de información *antes* de la implementación de la innovación instruccional) hace difícil saber si realmente hubo un cambio en los estudiantes. La ausencia de un grupo control también hace difícil saber qué hubiera pasado en la ausencia de la implementación de la innovación instruccional. ¿Cómo saber que el efecto observado no es causado por otros eventos que ocurrieron durante la implementación de la innovación, y no por la innovación en cuestión?¹⁵⁰ Los estudios con este tipo de diseño se consideran estudios no comparativos, y por lo tanto, no cumplen con un requisito metodológico para ser incluidos en el meta-análisis.

En otros reportes encontramos diseños ligeramente mejores. En estos reportes los profesores investigadores aplicaron un examen al grupo de estudiante antes de la implementación de la innovación y otro examen después de la implementación de la innovación. Este tipo de estudio quasi-experimental se conoce como *Diseño de un Grupo con Pretest-Posttest* y se puede diagramar de la siguiente manera:

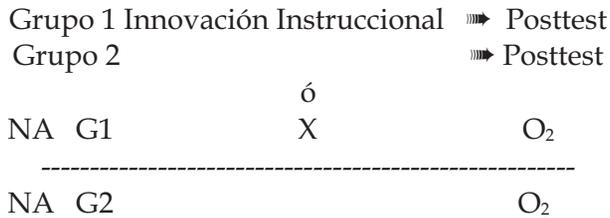


Agregar un pretest provee una pieza de información débil acerca de una posible explicación contrafactual acerca de qué podría haber pasado con los estudiantes si la implementación de la innovación (tratamiento) no hubiera ocurrido. Sin embargo, porque O₁ ocurre antes de

¹⁵⁰ Otras posibles causas que no pueden eliminarse como plausibles para explicar los efectos observados en un estudio se conocen como amenazas a la validez interna del estudio. Amenazas a la validez interna incluyen: Selección, historia, maduración, regresión estadística, mortalidad experimental, efecto de la prueba, instrumentación, efectos aditivos e interactivos (Ver Campbell & Stantely, 1963). Existen también amenazas a la validez externa del estudio (Ver Campbell & Stantely, 1963).

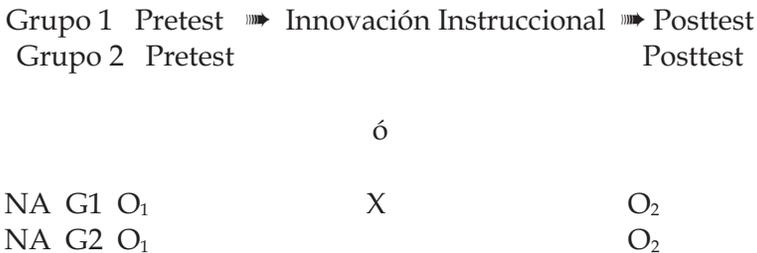
O₂, la diferencia observada podría ser explicada por factores como la madurez u otros eventos que ocurrieron durante la implementación de la innovación. Para los propósitos del proyecto, este tipo de estudios se consideran como comparativos y, por lo tanto, se evalúan otros aspectos relacionados con su calidad metodológica.

Otro diseño quasi-experimental común en los reportes es el que se llama *Diseño con Posttest Únicamente con Grupo Control No Equivalente* y se puede diagramar de la siguiente manera:



En donde NA es No Aleatorio - el grupo no fue asignado a la condición de manera aleatoria. En este diseño se implementa la innovación a un grupo de estudiantes y a otro no, y ambos reciben un posttest. La mejora entre este diseño y el primero que se describió es clara. En este último diseño es posible comparar los efectos de la innovación en un grupo con otro que no recibió dicho tratamiento. Sin embargo, si se encuentran diferencias entre los dos grupos (digamos a favor del grupo que recibió la innovación) no se puede concluir que la diferencia se debió a la innovación necesariamente porque el Grupo 1 pudo ser de estudiantes más inteligentes, como en el caso anterior.

Un mejor diseño es un Diseño Pretest-Posttest con Grupo Control No Equivalente y se puede diagramar de la siguiente manera:



Asumiendo que con base en estos cuatro ejemplos la lógica involucrada en el diseño de estudios es ahora más clara, es posible entender las características de las que adolecen la mayoría de los reportes analizados hasta ahora en el proyecto. Es claro que no hay diseño quasi-experimental perfecto, pero si el diseño contempla la posibilidad de reducir lo más posible las amenazas que atentan contra la validez se está en el camino correcto.

Calidad de los Instrumentos. Cualquier cosa que existe, existe en cierta cantidad (Thorndike), y si existe en cierta cantidad es medible (Cronbach). La medición de cualquier constructo, como el aprendizaje o las actitudes de los alumnos, es importante porque ayuda a tomar decisiones más educadas. Para saber si las innovaciones realmente tienen un impacto en el aprendizaje de los estudiantes es necesario tener evidencia de ello; es necesario medirlo. Se puede argumentar que la administración de exámenes o tests no es una opción adecuada porque quita tiempo, porque no les gusta a los alumnos, porque las pruebas de opción múltiple no miden realmente lo que los alumnos saben y pueden hacer. Pensar que la única fuente de información acerca del aprendizaje de los estudiantes son pruebas de opción múltiple es limitar el uso de otras fuentes de información disponibles continuamente en el salón de clases (e.g., productos de los estudiantes). Lo que es importante es tener una pieza de información que permita saber si la innovación está teniendo un impacto, cualquiera que sean los instrumentos seleccionados.

Cualquier instrumento de medición debería ser evaluado en dos características básicas: validez y confiabilidad. Validez se refiere a proporcionar evidencia de lo estamos midiendo lo que queremos medir. Confiabilidad se refiere a la consistencia de los resultados. El enfoque del capítulo no permite dedicar una discusión a estos dos tópicos. Sin embargo, es importante saber que la calidad técnica de los instrumentos utilizados para medir el aprendizaje de los alumnos contribuye a determinar la calidad de los resultados reportados en un estudio. Pocos reportes proporcionan información con respecto a estos dos aspectos de los instrumentos.

En la siguiente sección se describe el objeto de estudio de los reportes, las innovaciones instruccionales.

3. Caracterización de Innovaciones Instruccionales en la Enseñanza de la Ciencias

Definir lo que es una innovación instruccional no es una tarea fácil. Hasta 2006, no había ninguna definición clara de lo que constituye una innovación instruccional (Ruiz-Primo, Briggs, & Shepard, 2006). Esta situación es debida, en parte, a que existe la idea de que hay un sólo tipo de innovación (e.g., aprendizaje activo, interacción en la cual el estudiante está involucrado¹⁵¹) que abarca varias estrategias. O bien, diferentes autores interpretan las transformaciones instruccionales de manera diferente. Por ejemplo, Hake (1998) caracterizó los cursos innovadores en física alrededor de la idea de “interactive engagement”; mientras que otros autores han caracterizado los cursos innovadores como aquellos en los que se utiliza la tecnología (e.g., Dori & Belcher, 2005; Zollman, 1996¹⁵²). Más aún, diferentes autores, en diferentes o en la misma disciplina, interpretan los mismos términos de manera diferente (e.g., aprendizaje activo, aprendizaje cooperativo, aprendizaje colaborativo; ver Prince, 2004).

En el proyecto describimos de manera general las innovaciones como aquellas aproximaciones instruccionales que involucraban (Ruiz-Primo, Briggs, & Shepard, 2006): (1) un alejamiento de la cátedra como la estrategia instruccional única, (2) un cambio en el foco de atención en el salón de clases, del profesor al estudiante, (3) un apoyo a todas aquellas actividades que ayuden al estudiante a tomar control sobre su aprendizaje. Después de un proceso iterativo de revisión de más de un centenar de reportes en los que se usaron diversas estrategias para transformar los cursos, se identificaron cuatro tipos generales de innovaciones instruccionales (Ruiz-Primo, Briggs, Shepard, Iverson & Huchton, 2008):

3.1 Tareas orientadas conceptualmente

Este tipo de innovaciones están diseñadas para: (a) provocar o elicitarse el nivel de comprensión de los estudiantes de conceptos críticos, (b) identificar concepciones erróneas comunes que impiden el aprendizaje de los estudiantes, pero que si son detectadas, pueden ayudar a los

¹⁵¹ En inglés, “interactive engagement”

¹⁵² Generalmente acompañada de aprendizaje colaborativo entre estudiantes.

profesores a adaptar su instrucción como corresponde, (c) ayudar a los estudiantes a conectar y aplicar conceptos críticos, (d) ayudar a los estudiantes con métodos para representar problemas y utilizar diversas aproximaciones para resolverlos (estrategias de solución de problemas), e (e) involucrar a los estudiantes en la solución de problemas de la vida real de manera creativa y que refleje una comprensión integrada y profunda de los conceptos aprendidos¹⁵³.

Como resultado del proceso iterativo de revisión de reportes, se han definido tres tipos básicos de tareas orientadas conceptualmente:

1. *Solución de Problemas*. Esta innovación se refiere a la variedad de aproximaciones dirigidas a apartar a los estudiantes de ejercicios “kill and drill” y proporcionarles problemas más auténticos y cercanos a los que puedan encontrarse en la vida profesional de una disciplina dada. Los problemas requieran soluciones creativas y que reflejen una comprensión integral conceptual del contenido aprendido. Las mejores tareas para este tipo de innovación son aquellas conceptualmente ricas. Por ejemplo, aquellas que estén diseñadas con base en información acerca de las concepciones erróneas de los estudiantes y, por lo tanto, hacen evidentes estas concepciones y las desafían. Las tareas conceptualmente orientadas pueden enfrentar a los estudiantes a diferentes métodos para representar problemas, así como aproximaciones para pensar en los componentes del problema que faciliten encontrar las estrategias de solución. Por ejemplo, el problema puede estar inmerso en un contexto rico en información que le permita al estudiante usar su conocimiento para analizar el problema conceptualmente antes de decidir la estrategia de solución. Por lo tanto, la información crítica para resolver el problema no está contenida en la presentación del mismo y el estudiante requiere de llevar a cabo una serie de traducciones del problema a diferentes tipos de representaciones cada vez más abstractas (e.g., desde representar gráficamente el problema hasta hacer una representación matemática) que le permita decidir la estrategia de solución (e.g., elegir las ecuaciones necesarias).

¹⁵³ La cuarta categoría es “Otro” que incluye cualquier otro tipo de TOC no considerada en las tres categorías propuestas, pero que comparte una o más de sus características críticas.

2. *Inventarios Conceptuales*. Esta innovación incluye cuestionarios diseñados para conocer más acerca de la comprensión cualitativa de conceptos críticos en ciencia (e.g., fuerza), más que de las respuestas cuantitativas (e.g., resolver ecuaciones). Los inventarios son, por lo general, cuestionarios de opción múltiple, pero también pueden pedir formulaciones escritas que enfatizen el aspecto cualitativo más que el cuantitativo de los conceptos. En física, Halloun y Hastenes (1985) hicieron clara esta distinción enfatizando en su cuestionario (i.e., Inventario Conceptual de Fuerza – FCI por su sigla en inglés¹⁵⁴) conceptos e ideas más que ecuaciones y derivaciones.

El propósito principal de los inventarios conceptuales es ayudar a identificar concepciones erróneas y comunes en los estudiantes; por lo tanto, su valor diagnóstico es alto. Los inventarios también se usan para dirigir la atención de los estudiantes a aspectos críticos de los conceptos y a los profesores a tener una idea de lo que los estudiantes están aprendiendo durante la instrucción.

Los inventarios conceptuales están diseñados alrededor de conceptos críticos dentro de un tópico más que alrededor de hechos aislados. Más aún, su construcción requiere pensar cuidadosamente acerca de la estructura del concepto crítico en cuestión (e.g., la estructura conceptual de la mecánica Newtoniana).

Los inventarios no pueden construirse si no hay un entendimiento claro de cuáles son las concepciones erróneas y confusiones más comunes que los estudiantes traen como resultado de su experiencia en la vida cotidiana. Por lo tanto, los inventarios son el resultado de investigación cuidadosa (e.g., a través de entrevistas) que ayuda a identificar las concepciones erróneas de los estudiantes (sus modelos mentales). La información colectada ayuda posteriormente a la elaboración de los distractores en los reactivos de opción múltiple de los cuestionarios. Dependiendo de las opciones elegidas por los estudiantes, el profesor puede identificar claramente los modelos mentales que están guiando las concepciones erróneas de los estudiantes, y con esa información puede modificar o adaptar la instrucción para ayudarlos a superarlas.

¹⁵⁴ En inglés Force Conceptual Inventory.

3. *Mapas Conceptuales*. Se refiere a aquellas tareas en las que se les pide a los estudiantes que representen gráficamente las relaciones entre conceptos críticos explicando cómo estos conceptos se relacionan. Estas representaciones gráficas ayudan a identificar relaciones entre conceptos que son inadecuadas, ayudando a los profesores a tomar decisiones instruccionales.

Hay diferentes técnicas para construir mapas conceptuales, sólo aquellas en las cuales los estudiantes construyen los mapas conceptuales completamente, más que elegir únicamente las explicaciones de un menú, se consideran conceptualmente ricas (Ruiz-Primo, Shavelson, Li, Schultz, 2001).

Para que los mapas conceptuales cumplan su función, una discusión de las relaciones críticas entre los conceptos es necesaria. Es a través de la discusión de las relaciones que los estudiantes presentan en su mapa conceptual que puede haber una reflexión de sus concepciones al compararlas con la de otros estudiantes.

En el proyecto consideramos tres aspectos críticos relacionados con el proceso de instrucción de las tareas orientadas conceptualmente. La implementación de la tarea tiene que dar oportunidad para discutir las estrategias y/o soluciones y/o razonamientos de forma que se permita explicitar las concepciones de los estudiantes y discutir las con base en evidencia y razonamiento lógico. Esta discusión permite que haya una reflexión y que las concepciones puedan ser revisadas a la luz de la evidencia presentada.

3.2 Aprendizaje colaborativo

Esta innovación se refiere al proceso de involucrar estudiantes con sus compañeros durante el proceso de aprendizaje¹⁵⁵. Esta innovación está basada en la perspectiva teórica de que el desarrollo conceptual tiene una génesis esencialmente social. Lo cual significa que la interacción entre compañeros representa un foro ideal para ayudar a los estudiantes a dar un salto a niveles más altos de comprensión.

¹⁵⁵ En el proyecto aprendizaje cooperativo queda incluido en la innovación aprendizaje colaborativo. No compartimos la diferencia hecha entre los dos términos por otros (e.g., Prince, 2004): En el aprendizaje cooperativo el elemento crítico es la cooperación para promover el aprendizaje; en el aprendizaje colaborativo el énfasis es la interacción más que en el aprendizaje.

Hay ciertas características de la naturaleza de la interacción que necesitan estar presentes para que esta innovación sea efectiva (Brown & Palincsar, 1986): (1) todos los miembros del grupo deben participar (o ser empujados a participar) en las conversaciones del grupo, (2) la dinámica del grupo debe ser alrededor de explicaciones y discusiones que reflejen los razonamientos seguidos en la solución de problemas y las interpretaciones de los datos presentados, (3) los miembros del grupos deben sustentar sus explicaciones con razonamientos lógicos o con evidencias que sustentan las aseveraciones expresadas para que garanticen la pertinencia y credibilidad de las explicaciones, (4) el grupo tiene que trabajar en una tarea común (en lugar de estudiante A hace esto, estudiante B hace esto otro, estudiante C colecta datos, y estudiante D los analiza), y (5) el grupo tiene que crear un ambiente de ayuda, soporte, y resolución de conflictos en el contexto de las discusiones. Este tipo de interacción se debe esperar tanto entre los miembros de un mismo grupo, como entre los grupos en un mismo salón de clases. En este tipo de interacción se espera una retroalimentación inmediata a través de la discusión ente los estudiantes, y/o una retroalimentación demorada en una discusión, facilitada por el profesor, entre todos los miembros de la clase.

La manifestación de esta interacción se puede dar de diferentes maneras de acuerdo con dimensiones tales como el número, características, y roles de los miembros involucrados. En el proyecto se pone atención a siete características: quién formó grupo (e.g., por decisión del profesor, por decisión de los estudiantes), de qué manera se formó el grupo (e.g, por género, habilidad, interés, aleatoriamente), estabilidad del grupo a lo largo de la implementación de la intervención, asignación de roles y si éstos fueron estables o no, si es clara la orientación de los grupos (competitivo o colaborativo), y el tipo de producto final que se espera (e.g., individual, grupal).

3.3 Tecnología

Esta innovación considera el uso de la tecnología en al menos tres formas: como un instrumento instruccional, como un medio para proporcionar retroalimentación, y como un medio para colaborar.

Como instrumento instruccional, la tecnología puede ayudar a los estudiantes de una manera no-interactiva visualizando procesos (e.g.,

filtración capilar en ingeniería biomédica) y conceptos (e.g., átomos y moléculas en 3ra dimensión); o interactiva: (b) simulando procesos (e.g., manipulando variables que afecten la velocidad), y (c) colectando y/o analizando datos. Se espera que el uso de la tecnología ayude a los estudiantes a entender un concepto o un proceso, a resolver un problema de la vida real por medio de simulaciones y sin dejar el salón de clases, a probar teorías y modelos con simulaciones.

Como un medio para proporcionar retroalimentación, la tecnología permite: proporcionar retroalimentación inmediata y automática a las acciones de los estudiantes, proporcionar retroalimentación por parte del profesor o de otros estudiantes, y/o dar la oportunidad a los estudiantes de que reflexionen acerca de su aprendizaje proporcionando preguntas, por ejemplo, a ciertas acciones ejecutadas.

Como un medio para colaborar y conversar. La tecnología permite crear comunidades de aprendizaje locales (e.g., entre los profesores y los estudiantes en el mismo salón de clases), y globales (e.g., estudiantes en otros salones de otras universidades).

3.4 Proyectos basados en indagación

Este tipo de innovación da a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo proyectos de investigación (pueden ser más o menos cercanos a la vida real o a la práctica cotidiana de la disciplina) que requieren del desarrollo de un plan de investigación y su implementación, la colección, y el análisis de datos. Su solución requiere una aproximación indagatoria, por lo general pero no necesariamente, en colaboración con otros estudiantes. Los proyectos pueden o no tomar de un período largo de tiempo para llevarse a cabo. El problema puede ser dado, sugerido, o seleccionado por los estudiantes al igual que el procedimiento y la forma de coleccionar ya analizar los datos. Es decir, el proyecto puede ser más o menos dirigido y estructurado por el profesor. Se espera que los estudiantes aprendan el conocimiento y las habilidades necesarias en el proceso de solución del problema propuesto¹⁵⁶.

¹⁵⁶ Dentro de esta categoría de innovación podrían considerarse a lo que se ha denominado Problem-Based Learning.

Es claro que se puede encontrar en los reportes una o más de estas innovaciones. Por ejemplo, es común encontrar la combinación de tareas orientadas conceptualmente, con aprendizaje colaborativo, y/o tecnología.

4. Analizando reportes de innovaciones instruccionales

Las premisas más importantes que subyacen a todas las innovaciones instruccionales es que facilitan el aprendizaje de los estudiantes y mejoran su actitud hacia la ciencia. Más aún, se asume que están basadas en investigaciones consistentes con las nuevas aproximaciones cognitivas y educativas. Sin embargo, no es del todo claro si hay suficiente evidencia empírica que apoye estas premisas y suposiciones. Aunque hay varios estudios que reportan el efecto de las innovaciones en el aprendizaje de los estudiantes (e.g., Hake, 1998; Hrepic, Zollman & Rebello, 2002, Johnson, Johnson, & Smith, 1998; 2005; Prince, 2004; Tien, Roth, & Kampmeir, 2002), no hay estudios que reporten la calidad de la evidencia presentada en estos estudios. Este último tema es un objetivo crítico del proyecto.

El análisis de los reportes se lleva a cabo con base en su calidad conceptual y metodológica. De acuerdo con la discusión presentada anteriormente, la calidad conceptual se enfoca en dos características principales: la fundamentación teórica de la innovación y su caracterización. La calidad metodológica se enfoca en tres aspectos: el tipo de diseño experimental utilizado, la unidad de análisis, y la calidad de los instrumentos utilizados para medir el aprendizaje de los estudiantes o sus actitudes. Cada uno de los aspectos evaluados está constituido por sub-aspectos con la finalidad de caracterizar los reportes lo más precisamente posible y poder establecer la comparabilidad de éstos. Para conducir el meta-análisis es necesario que los reportes sean conceptualmente comparables.

4.1 Métodos para coleccionar y codificar los estudios

Colección de Reportes. La colección de los reportes se realizó en dos fases. En la Fase I se utilizaron tres fuentes de información proporcionadas por expertos en las disciplinas estudiadas y que forman

parte del Consejo Consultor del Proyecto UCI¹⁵⁷: (1) una lista de reportes en innovaciones que han influido la disciplina en cuestión de manera importante; esta lista se denominó, la lista de “boca-a-boca” (WoM por sus siglas en inglés¹⁵⁸), (2) una lista de los investigadores más importantes de innovaciones instruccionales en la disciplina en cuestión, y (3) una lista de las revistas más importantes en la disciplina. En la Fase 2, se llevó a cabo un búsqueda de reportes (artículos publicados en revistas impresas o en el web). Este proceso involucró diferentes pasos: (1) establecer una lista que incluyera todas las revistas importantes en la disciplina, (2) buscar artículos en las revistas usando una lista preliminar de palabras claves, y (3) filtrar los estudios encontrados en el paso 2 de acuerdo con ciertos criterios (e.g, el artículo se enfocará en estudiantes de licenciatura) para analizar únicamente aquellos que cumplieran con ciertos criterios de elegibilidad¹⁵⁹.

Análisis de los Reportes: Sistema de Codificación. La muestra elegida de acuerdo con los criterios especificados en la Fase 2 se analiza usando un sistema de codificación de dos niveles. El Nivel I se enfoca en clasificar los reportes en una de cuatro categorías: (1) Reportes con Antecedentes – documentos con información teórica, documentación histórica acerca de las innovaciones, o descripción de innovaciones que no son estudiadas; (2) Reportes de Síntesis – documentos que resumen diferentes estudios acerca de una o más innovaciones de forma narrativa o como meta-análisis. (3) Reportes Descriptivos – documentos en los cuales se implementaron innovaciones instruccionales pero no hay un intento por evaluar sistemáticamente el efecto de la innovación en el aprendizaje de los estudiantes o en sus actitudes, y (4) Reportes Comparativos – documentos que documentan la implementación de una innovación instruccional pero que evalúan el impacto en el aprendizaje de los estudiantes o en sus actitudes con estudios comparativos. Solamente los reportes categorizados como Reportes Comparativos son elegibles para ser codificados en el siguiente nivel.

¹⁵⁷ Miembros del Advisory Board: Biología: William Wood, Física: Joe Redish, Ingeniería: Jacky Smith, y Química: Virginia Barenbaum.

¹⁵⁸ En inglés Word-of-Mouth

¹⁵⁹ Para mayor información sobre el proceso ver Ruiz-Primo, Briggs, & Shepard, Iverson, Huchton, 2008.

En el Nivel II la codificación se enfoca en caracterizar el estudio de acuerdo con la innovación instruccional y las características metodológicas del estudio. El Nivel II está organizado en dos grandes etapas, la caracterización conceptual y la caracterización metodológica. El proceso de codificación primero identifica la innovación instruccional. Si más de una innovación instruccional es identificada, el sistema de codificación requiere de identificar una primaria y las demás como secundarias de acuerdo con ciertas reglas. En este primer paso se identifica el curso en la cual se implementa la innovación (e.g., física introductoria). El sistema de codificación se enfoca después en la caracterización con el mayor detalle posible de la(las) innovación(es) de acuerdo con la información proporcionada (e.g., se codifica cómo se asignaron los estudiantes a los grupos pequeños).

Después se codifica la parte metodológica por componentes: (1) caracterización del tipo de diseño (e.g., experimental o quasi-experimental, qué tipo de grupo control se utilizó), (2) información acerca de las unidades de análisis (i.e., estudiante, grupo pequeño, clase, o secciones), (3) forma de muestreo de los estudiantes (i.e., probabilístico o conveniente), (4) forma de asignación de los estudiantes a las condiciones (i.e., por el profesor/investigador, auto-selección, o la universidad), (4) características de los instrumentos de medición cognitivos (i.e., aprendizaje) y/o afectivos (e.g., actitudes) tales como tipo de reactivo y desarrollo e información acerca de sus características técnicas (i.e., confiabilidad y validez), (5) comparación estadística de los efectos (e.g., comparación de medias, tamaño del efecto). El último aspecto involucra toda la información a ser utilizada en el meta-análisis.

El sistema de codificación se encuentra en Access con una estructura jerárquica: De acuerdo con las opciones elegidas, el programa presenta las preguntas necesarias. Por ejemplo, si no hay grupo control todas las preguntas relacionadas con las características del grupo control se omiten.

4.2 Resultados preliminares

Características Conceptuales. El resultado de la búsqueda de reportes por disciplina (Fase 1) se presenta en la Tabla 1. La Fase 2 se ha llevado a cabo únicamente en física. El proyecto se ha enfocado a codificar los

reportes encontrados en física ya que es la disciplina con mayor tradición en el estudio de innovaciones instruccionales. Los datos preliminares que se presentan en esta sección corresponden a esta disciplina.

Tabla 1. Resultados de la Fase 1: Reportes WoM

Disciplina	Referencias proporcionadas por el consejo consultor	Referencias de investigadores importantes	Búsqueda de Google Scholar	Búsqueda en los webpages de los investigadores	Total de reportes WoM
Biología	15	6	12	14	47
Física	2	4	26	48	80
Química	1	0	0	5	6
Ingeniería	2	4	0	65	74

Como resultado de la Fase 2 se encontraron 414 reportes en física. De los 414 reportes, 127 se excluyeron después de una revisión cuidadosa porque no cumplieron con los criterios especificados. De los 286 reportes, 120 se codificaron como reportes de antecedentes, 17 como reportes de síntesis, 32 como reportes descriptivos, y 118 fueron codificados como reportes de estudios comparativos.

Los estudios comparativos se clasificaron de acuerdo con la función de las innovaciones evaluadas. *Las innovaciones primarias* son el foco principal de los estudios y *las innovaciones secundarias*, son aquellas que aunque son mencionadas como parte de la aproximación instruccional, no son el foco de atención en la evaluación. Una muestra de aproximadamente el 10% fueron clasificadas por cuatro de los investigadores con un porcentaje de acuerdos de más de 96%. Es claro que un mismo reporte puede tener únicamente una innovación primaria, otros pueden tener una primaria y una secundaria, y raramente, dos secundarias. La Tabla 2 muestra el desglose de los reportes con estudios comparativos identificados en física.

Tabla 2. Reportes de estudios comparativos en física de acuerdo con las innovaciones primarias y secundarias

		Innovaciones Instruccionales Primarias*				
		Tareas Conceptualmente Orientadas (COT)	Aprendizaje Colaborativo (CL)	Tecnología (TECH)	Proyectos Basados en la Indagación (IBP)	Total
Innovaciones Instruccionales Secundarias	COT	0	6	26	0	36
	CL	29	0	2	1	38
	TECH	6	0	0	0	6
	IBP	0	0	0	0	0
	CL & TECH	6	0	0	0	0
	COT & CL	0	0	3	1	0
	None	27	2	6	1	36
	Total	68	8	37	3	116

* Se mantienen las siglas en inglés: COT Conceptually Oriented Tasks, CL - Collaborative Learning, TECH - Tecnología, IBP - Inquiry-Based Projects.

Nota: De los 118 reportes, dos no pudieron representarse en la tabla porque son resultados de la implementación de múltiples innovaciones y ninguna pudo identificarse como primaria.

La innovación instruccional que más se ha estudiado ya sea como innovación primaria o secundaria es Tareas Conceptualmente Orientadas ($n = 104$). Estos resultados apoyan la aseveración de que uno de los esfuerzos por mejorar la educación en física se ha enfocado en mejorar la comprensión de conceptos críticos. La combinación más común de innovaciones es Tareas Conceptualmente Orientadas con Aprendizaje Colaborativo ($n = 35$). Otra combinación popular es el uso de la Tecnología como innovación primaria con Tareas Conceptualmente Orientadas como innovación secundaria ($n = 29$).

Resultados de la codificación indican que la mayoría de los estudios de las innovaciones instruccionales se llevan a cabo en cursos introductorias de física (55%) con un enfoque en mecánica (37%). El resto de los estudios

se enfocan en física general (25%), electricidad y magnetismo (17%), física moderna (4%), astronomía (4%), óptica (3%), y el resto en otros tópicos (10%).

Es importante mencionar que la mayoría de los estudios no describe las innovaciones instruccionales con suficiente detalle como para poder identificar con claridad los componentes críticos de la innovación. Más aún, la mayoría de los reportes no mencionan la fundamentación teórica de la innovación, si existe una fundamentación no se hace explícito como el diseño de la innovación está basado en la teoría. La fundamentación queda a nivel de referencias. En pocos estudios la fundamentación teórica es considerada para explicar el diseño de la innovación.

4.3 Características metodológicas

Como ya se mencionó, el proyecto aún no está terminado y actualmente se están codificando los reportes de física en el Nivel II. Por lo tanto, no hay resultados finales para el meta-análisis. Sin embargo, con los reportes codificados hasta la fecha hay algunas tendencias que se pueden mencionar. Por ejemplo, el diseño experimental más común es pretest-posttest con grupo control. La mayoría de los estudios en física reportan los resultados como ganancia normalizada¹⁶⁰ (e.g. Redish, Saul, and Steinberg, 1997) y comparan con los resultados reportados por Hake (1998). Es decir, los grupos controles no son contemporáneos, sino históricos (i.e., los estudiantes bajo el tratamiento – innovación – se comparan con estudiante que tomaron el curso introductorio de física hace, digamos 10 años). Este tipo de comparaciones no es el más adecuado porque es claro que las características de la población de los estudiantes de física de hace 10 años no es probablemente la misma que las características de estudiantes en la época actual.

En la mayoría de los estudios la unidad de análisis son los estudiantes, pero hay estudios en los cuales se utilizan otras unidades de análisis como, las secciones (todos los estudiantes tomando un curso en diferentes horarios).

¹⁶⁰ En inglés, normalized gain score propuesto por Hake para analizar el aprendizaje de los estudiantes en física.

En física, los inventarios conceptuales además de utilizarse como innovaciones instruccionales, se utilizan con mucha frecuencia como instrumento de medición del aprendizaje. Los dos instrumentos más populares son el FCI (Halloun & Hestenes, 1985), y el Inventario de Fuerza y Movimiento (Thornton & Sokoloff, 1998). A pesar de que hay evidencia de la confiabilidad y validez de estos instrumentos, es claro que la consistencia no es una propiedad del instrumento, por lo tanto se requiere evaluarla en cada ocasión que se administra, lo cual, aparentemente nunca sucede. Más aún, en la mayoría de los reportes no hay evidencia de que datos presentados sean confiables o válidos.

Aunque en la mayoría de los reportes codificados hasta ahora concluyen que hay una mejora en el aprendizaje de los estudiantes como resultado de la implementación de las innovaciones, i.e., la innovación tiene un efecto, la calidad de los instrumentos, dejan muchas hipótesis alternas como posibles explicaciones a los resultados reportados. Actualmente estamos terminando de codificar los estudios comparativos de física para conducir el meta-análisis.

5. Hacia el mejoramiento del diseño, implementación, y evaluación de innovaciones educativas en la enseñanza de la ingeniería

Características Conceptuales e Importancia del Fundamento Teórico. A lo largo de este capítulo se ha hecho énfasis en la necesidad de diseñar innovaciones que estén alineadas a los principios fundamentales del aprendizaje y a las características de diseño de ambientes de aprendizaje. Es importante dejar atrás la idea de que las innovaciones son como una receta de cocina: (1) Déles a los estudiantes algo que hacer, (2) dígales que trabajen individualmente, en pares, o en grupos de tres o cuatro, y (3) deténgalos después de cierto tiempo, pregúnteles a unos pocos estudiantes sus respuestas, de la oportunidad para respuestas voluntarias, dé sus respuestas, y continúe enseñando (ver Felder & Brent, 2003). Es posible que la implementación mecánica de estos pasos pueda llevar a una mejor actitud de los estudiantes y quizá a un mejoramiento de su aprendizaje. Sin embargo, como ya se explicó, éste no es el significado real de “aprendizaje activo” y no es lo que debiera esperarse que ocurriera en un salón de clases en el cual se está implementando una innovación instruccional.

Las innovaciones instruccionales no pueden seguir siendo el producto de “buenas” ideas. Las innovaciones tienen que estar teóricamente fundamentadas para que puedan tener el éxito esperado. En física, el diseño de algunas innovaciones ha seguido una fundamentación teórica más rigurosa que en la mayoría de disciplinas (ver, Redish, 1994) y más cercana al tipo de práctica educativa estudiada en K-12 educación. La aplicación mecánica de las innovaciones tiene el riesgo de ser implementada de manera inadecuada.

Componentes Críticos de la Innovación y Fidelidad de la Implementación. Es importante que los profesores/investigadores durante el diseño de las innovaciones identifiquen y describan con cuidado los componentes esenciales de la innovación. Incluso la mejor innovación instruccional va a fallar si sus componentes esenciales no se implementan adecuadamente (Ruiz-Primo, 2005). El grado de fidelidad con el cual se implemente una innovación es crítico para poder sacar conclusiones válidas de los resultados de la innovación. Si los componentes críticos de la innovación no se describen cuidadosamente, no se puede esperar que la implementación se lleve a cabo con fidelidad, y por lo tanto, que los resultados de una innovación puedan ser replicables.

Diseño Experimental y Amenazas a la Validez de las Conclusiones. ¿Cuál sería el propósito de diseñar innovaciones y no saber si tienen un efecto para lo fueron diseñadas? ¿Para qué diseñarlas entonces? ¿Por qué implementar algo que no sabe si funciona o no? Existen al menos dos razones para investigar si las innovaciones funcionan o no: para saber que nuestra práctica cotidiana está teniendo un impacto en los estudiantes y para acumular conocimiento en el área de la enseñanza de la disciplina. Es decir, tener una posición indagatoria ante la propia práctica docente; lo que se ha llamado, un conocimiento de la ciencia de la enseñanza¹⁶¹. El diseño de innovaciones cuyo efecto en el aprendizaje de los alumnos no es evaluado de forma sistemática y rigurosa, es fútil.

La evaluación cuidadosa del impacto de una innovación puede ayudar a afinar la innovación de manera que tenga un impacto mayor. Las

¹⁶¹ En inglés: scholarship of teaching.

replicaciones directas y sistemáticas son posibles en cada ocasión en que un curso es enseñado. Identificar qué variables *moderan* (e.g., género, cursos tomados anteriormente) o *median* (e.g., el profesor que implementa la innovación) la eficacia de la innovación, ayuda a entender mejor cómo funciona la innovación y qué condiciones son necesarias para su implementación exitosa.

La evaluación del impacto de una innovación no depende únicamente de la fidelidad de la implementación de la innovación, sino también del cuidado que se ponga en el diseño de estudio. Para poder concluir que una innovación tiene un efecto en el aprendizaje, es importante poner atención al diseño que se va a utilizar. Es claro que llevar a cabo un estudio con los estudiantes presenta, por lo general, ciertas restricciones tales como la asignación aleatoria a las diferentes condiciones (e.g., instrucción con innovación o instrucción tradicional). Sin embargo, ésta no es una excusa para no implementar un diseño más pensado. Entre más débil es el diseño, más amenazas a la validez de las conclusiones, más explicaciones alternas posibles a los efectos encontrados, y menos evidencia para apoyar las aseveraciones acerca de los resultados (e.g., la innovación funcionó, los estudiantes aprendieron más).

Es claro que hay una falta de reflexión acerca del uso de grupos no equivalentes (no asignados aleatoriamente a las condiciones y que, por lo tanto, pueden diferir uno del otro en más de una forma además de la presencia de la innovación instruccional) y sus implicaciones con la comparabilidad de los grupos. El ejercicio de pensar en las posibles amenazas a la validez, ayuda a reflexionar en explicaciones alternativas posibles y a diseñar mejores estudios.

Los estudios deberían diseñarse considerando mínimamente una comparación pretest-posttest. De ser posible, agregar un grupo control que sea contemporáneo al cuál se le administre una secuencia similar de observaciones, pretest-posttest. Tener un grupo control que sea lo más similar posible al grupo que recibirá la innovación (e.g., mismo horario es preferible más que diferente horario; mismo semestre, mejor que en diferente semestre). Asegurarse que el grupo de estudiantes bajo la innovación, no es diferente al grupo de estudiantes bajo la condición control. Comparación estadística de los grupos.

Resulta crítico reportar las medias (no porcentajes como es usual) y las desviaciones estándar por grupo. Sin esta información es imposible calcular el tamaño del efecto (una medida de la magnitud de la relación)¹⁶² que es el dato estadístico utilizado para conducir los meta-análisis. Resulta incomprensible la falta de información descriptiva en la mayoría de los estudios. Parece que la utilidad de saber la media y la desviación estándar no es muy conocida. Más aún, es difícil interpretar la media y la desviación estándar si no se sabe cuál es el puntaje máximo. Por ejemplo, una media de 8 puede ser alta si la máxima calificación es 10, pero muy baja si la máxima calificación es 30. Una situación similar es la de la desviación estándar. Si no se conoce la calificación o el puntaje máximo, es difícil interpretar qué tanta variabilidad hubo en la ejecución de los estudiantes. Por desgracia, este tipo de información es reportado en pocos estudios.

Uso de Instrumentos Confiables y Válidos. Cualquier instrumento debe ser evaluado en sus cualidades técnicas, validez y confiabilidad. Validez se refiere a la colección de evidencia que garantice que las interpretaciones de los resultados son apropiadas de acuerdo con lo que se quiere medir (el constructo). Confiabilidad se refiere a la consistencia de los resultados obtenidos.

Es claro que los profesores no tienen que ser todólogos (saber de psicometría y metodología), pero es importante que reconozcan la necesidad de consultar con psicómetras y metodólogos para llevar a cabo mejores evaluaciones de las innovaciones.

Hay mucho que sugerir para llevar a cabo mejores evaluaciones de las indagaciones. Las aquí mencionada son sólo una muestra muy pequeña de consideraciones que se espera ayuden a mejorar el área de la enseñanza de la ingeniería con innovaciones más sólidas y con evaluaciones que ayuden a acumular conocimiento acerca de esta enseñanza.

6. References

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How people learn. Brain, mind, experience, and school.* Washington, D.C.: National Academy Press.

¹⁶² En inglés: effect size.

- Brown, A. L., & Palincsar, A., S., (1986). Guided, cooperative learning, and individual knowledge acquisition. In L. B. Resnick (Ed.). *Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 393-451). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates Publishers.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Chicago: Rand McNally.
- Dori, Y. J., & Belcher, J., (2005). How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts? *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2). 243-279.
- Felder, R. M. (2006). Teaching engineering in the 21st century with a 12th century teaching model: How bright is that? *Chemical Engineering Education*, 40 (2), 110-113.
- Felder, R. M. & Brent, R., (2003). Learning by doing. *Chemical Engineering Education*, 37 (4), 282-283.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys*, 66, 64-74.
- Halloun, I. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1055.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swakhammer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Phys. Teach.* 30, 141-158.
- Heller, P. & Hollabaugh, M. (1992). Teaching solving problem through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60 (7), 637-643.
- Hestenes, D. (1998). Who need physics education research? *American Journal of Physics*, 66, 465-467.
- Hestenes, D. (2000). *Remodeling university physics*. Project funded by the Division of Undergraduate Education, National Science Foundation.
- Hilton, M. (Ed.) (2002). *Enhancing undergraduate learning with information technology*. National Research Council. Washington, DC: National Academic Press.
- Hoellwarth, C., Moelter, M., & Knight, R. (2005). A direct comparison of conceptual learning and problem solving ability in traditional and studio style classrooms. *Am. J. Phys.* 73(5), 459-462.
- Hrepic, Z., Zollman, D. A., & Rebello, N. J., (2002). *Eliciting and representing hybrid mental models*. Paper presented at the Annual

- meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., & Smith, K.A. (1998). Cooperative learning returns to college: What evidence is there that it works? *Change*, 30(4), 27-35.
- Leonard, W., Dufresne, R., & Mestre, J. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64 (12), p. 1495-1503.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction*. Upper Saddle River, new jersey: Prentice Hall Series in educational Innovation.
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned - Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59 (4), 301-315.
- McDermott, L. C. & Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER I: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67 (9), 755-767.
- McDermott, L. C., Shafer, P., & Somers, M. (1994), Research as a guide for curriculum development: An illustration in the context of the Atwood's machine. *American Journal of Physics*, 62, 46-55.
- Norman, G., & Schmidt, H. (2000). Effectiveness of problem-based learning curricula: Theory, practice, and paper darts. *Medical Education*, 34, 721-728.
- Palincsar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension monitoring activities. *Cognition and Instruction*. 1, 117-175.
- Pool, B. J. & Kidder, S. Q. (1996). Making connections in the undergraduate laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 26 (1), 34-36.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*. Retrieved May 11, 2006, from http://www.bucknell.edu/img/assets/5317/06-EE021-03-3129_1-9.pdf.
- Rebello, N. S. (1999). *Implementing the Workshop Model and other Research-based Instructional Strategies in Physics & Mathematics Courses*. Project funded by the Division of Undergraduate Education, National Science Foundation.
- Rebello, N. S. (2000). *PECASE: Research on Students' Mental Models, Learning and Transfer as a Guide to Application-Based Curriculum Development and Instruction in Physics*. Project funded by the Division of Research, Evaluation and Communication, National Science Foundation.

- Redish, E. F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *Am. J. Phys.* 62(9), 796-803.
- Redish, E. F. (2000). *Learning How to Learn Science: Metacognition in post-secondary physics education for bioscience majors*. Project funded by the Research, Evaluation, and Communication Division, National Science Foundation.
- Redish, E.F., Saul, J.M., & Steinberg, R.N. (1997). On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. *Am. J. Phys.* 65(1), 45-54.
- Ruiz-Primo, M. A. (2005). *A multi-method and multi-source approach for studying fidelity of implementation*. CSE: Technical Report 677. Los Angeles, CA: Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing/ University of California, Los Angeles.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., & Shepard, L. (2006). Undergraduate Science Course Innovations and Their Impact on Student Learning. Proposal submitted to National Science Foundation. Washington, D.C.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Shepard, L., Iverson, I., & Huchton, M. (2008). The literature search process for the Undergraduate Course Innovation project. Internal manuscript for the Advisory Board. Denver, CO: University of Colorado Denver.
- Ruiz-Primo, M. A., Shavelson, R. J., Li, M., Schultz, S. E. (2001). On the validity of cognitive interpretations of scores from alternative mapping techniques. *Educational Assessment*, 7 (2), 99-141.
- Scardamalia, M., Bereiter, C., & Steinbach, R (1984). Teachability of reflective processes in written composition. *Cognitive Sciences*, 8, 173-190.
- Seymour, E. & Hewitt, N. M. (1997). *Talking about leaving: Why undergraduates leave the sciences*. Boulder, CO: Westview Press.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T., (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.
- Shavelson, R., Ruiz-Primo, M.A., & Naughton, B. (2006). *Assessment of Student Learning In College: Rhetoric and Promises*. Paper presented at AERA Annual Meeting, San Francisco, CA.
- Stokstad, E. (2001). Reintroducing thee intro courses. *Science*, 293, 1608-1610.
- Strassenburg, A.A. (1987). Problem on beginning physics courses. *AAPT Announcer*, 17 (4), 55.

- Suter, L. & Narayanan, H. (2006, April). *A View of Physics Education Portfolio and Research from The National Science Foundation*. Paper presented at the AERA Annual Meeting, San Francisco, CA.
- Thacker, B, Kim, E., Trefz, K., & Lea, S. M. (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 62, 627-633.
- Thornton, R.K., & Sokoloff, D.R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *Am. J. Phys.* 66, 338-352.
- Tien, L. T., Roth, V., & Kampmeir, J. A. (2002). Implementation of a peer-led team learning instructional approach in an undergraduate organic chemistry course. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (7), 606-632.
- Zollman, D. (1990). Learning cycles for a large-enrollment class. *The Physics Teacher*, 28, 20-25.
- Zollman, D. (1996). Millikan Lecture 1995: Do they just sit there? Reflections on helping students learn physics. *American Journal of Physics*, 64, 114-119.
- Zollman, D. (1997). *Creating a Modern Physics Course: Visualization and Computation for Undergraduate Physics Majors*. Project funded by the Division of Undergraduate Education, National Science Foundation.

Nota.

Un llamado a los Editores de Revistas Que Publican Estudios Sobre Innovaciones. Es importante hacer notar que la mayoría de los reportes analizados hasta ahora en el proyecto UCI han sido publicados en revistas altamente reconocidas de las disciplinas científicas correspondientes o de la enseñanza de esas disciplinas científicas. Es evidente que, a pesar del prestigio de esas revistas, los reportes publicados no han sido revisados con el mismo rigor conceptual y metodológico empleado en revistas de investigación educativa arbitradas. Surge una pregunta incómoda: ¿Por qué a la investigación sobre la enseñanza de las ciencias duras no se le trata con el mismo rigor que a la investigación en ciencias duras en aspectos tan fundamentales como la calidad de los datos presentados, los procedimientos de muestreo, el proceso usado para coleccionar y analizar datos, la interpretación de datos, las conclusiones o la evidencia para apoyar esas conclusiones? Los editores deben tomar las acciones necesarias para asegurarse de que sus revistas publiquen artículos que sean ejemplo de investigación educativa de alta calidad que puedan contribuir al desarrollo científico de la enseñanza de las ciencias duras más que a la simple diseminación de opiniones pobremente sustentadas.

Autores



Mauricio Duque

Universidad de los Andes, Colombia

Hans Peter Christensen

DTU, Dinamarca

Germán Hernández

Universidad Nacional, Colombia

Julio Colmenares

Universidad Nacional, Colombia

Freddy Vargas

Universidad Nacional, Colombia

Joan Larrahondo

Universidad Nacional, Colombia

Paulo Guatame

Universidad Nacional, Colombia

Erik de Graaff

Delft, Holanda

Mark Steiner

ARPI, EEUU

Catalina Ramírez

Universidad de los Andes, Colombia

José Tiberio Hernández

Universidad de los Andes, Colombia

Jaime Plazas

Universidad de los Andes, Colombia

Jerome Pine

Caltech, EEUU

Nicanor Quijano

Universidad de los Andes, Colombia

Jorge Finke

Ohio State University

Kevin Passino

Ohio State University

Alvaro H. Galvis Panqueva

Universidad estatal de Wiston Salem, EEUU

Es investigador en nuevas tecnologías de información y comunicación – TIC – de la Universidad Estatal de Winston Salem, Carolina del Norte, USA, donde dirige el Centro para la Excelencia en la Enseñanza y el Aprendizaje y hace desarrollo profesoral docente apoyado en TIC. También es el líder de Metacursos, una organización virtual con ámbito latinoamericano que apoya el desarrollo de recursos humanos y la innovación e investigación sobre aprendizaje basado en uso de ambientes digitales; sus metacursos (cursos sobre cómo diseñar y ofrecer cursos en la red) son la base para la creación de comunidades de aprendizaje y de práctica entre educadores y para la innovación educativa usando TIC en programas con jóvenes y niños.

Alvaro es ingeniero de sistemas y computación de la Universidad de Los Andes, y tiene maestría y doctorado en educación de la Universidad del Estado de Pennsylvania. Fue profesor titular de la Universidad de Los Andes, donde era profesor investigador del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación y director fundador del Laboratorio de Investigación sobre Informática Educativa, LIDIE-UNIANDÉS. Uno de sus proyectos más conocidos es LUDOMÁTICA, ambientes lúdicos y creativos para niños, el cual ganó el premio mundial Global Bangeman, dado por la alcaldía de Estocolmo en 1999. Desde el año 2001 vive en USA, desde donde lidera Metacursos, una organización virtual que hace asesoría y entrenamiento en eLearning a entidades educativas y corporaciones que desean flexibilizar y hacer más efectivos sus procesos educativos. Durante cinco años dirigió en el Concord Consortium – CC – de Massachussets la investigación de impacto del proyecto “Viendo Matemáticas”, una innovación para preparar docentes de matemáticas mediante el uso de video casos. También desde CC creó un método para preparar docentes de primaria en el uso de comunidades de aprendizaje apoyadas en TIC (CAPTIC, Perú, 2005) y para integrar conversaciones genuinas sobre temas importantes para el aprendizaje (CONGENIA, Colombia, 2006). La PIOLA surge en este proceso de ayudar a entender las TIC a educadores y líderes educativos, es una herramienta conceptual para aprovechar las oportunidades que brinda la informática en educación.

Álvaro tiene varios libros y muchos artículos sobre innovaciones educativas con apoyo de TIC. En <http://scholar.google.es/> haga una búsqueda por [alvaro h galvis] y tendrá acceso a muchos de los artefactos que Álvaro ha creado y los proyectos que ha desarrollado.

María Aracely Ruiz-Primo

Universidad de Colorado, Denver, EEUU

Este libro se terminó de imprimir en los talleres de Opciones Gráficas Editores Ltda.
en la ciudad de Bogotá, D.C a los 25 días del mes de septiembre de 2008

