



LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA Y LAS MATEMATICAS EN LA UNIVERSIDAD

Carlos Corredor, Ph.D.
Director Ejecutivo

1. Cuando hablamos de la enseñanza de la ciencia y de las matemáticas en la universidad, tenemos que comenzar por hacernos la pregunta ¿qué es enseñar? Esta pregunta ha sido debatida por psicólogos y educadores por décadas, pero podríamos proponer que es la manera como un maestro transmite el conocimiento existente a sus alumnos de acuerdo con un plan, unas categorías, unas prioridades y unos procedimientos previamente definidos y generalmente aceptados por la comunidad académica que practica y enseña una ciencia determinada. Desde este punto de vista, el modelo corriente de enseñanza se dice que es centrado en el profesor.

En las últimas décadas, este concepto ha venido siendo criticado ya que no tiene en cuenta si lo que el profesor enseñó fue comprendido o no por el estudiante. Hay una fuerte corriente, impulsada por psicólogos constructivistas, que propone que la enseñanza debe estar centrada en el alumno. Experiencias tales como la del Sudbury Valley School en Framingham, Massachusetts, muestran que es perfectamente posible el educar a niños y jóvenes de escuela primaria y secundaria sin un currículo o plan de estudios. De su página web traducimos: “... Desde cuando el niño se matricula por primera vez, independiente de su edad, se le da la libertad de usar su tiempo en la forma como quiera, y se le da la responsabilidad de diseñar su camino hacia la edad adulta.... los estudiantes se sienten a gusto aprendiendo cosas nuevas; adquieren suficiente confianza en sí mismos para depender de sus propios juicios; y son capaces de perseguir sus metas apasionadamente hasta llegar a altos niveles de competencia...son adaptables a los cambios rápidos y creativos al resolver problemas nuevos”.¹ Este es un modelo extremo de lo que algunos llamarían pedagogía constructivista. Otras corrientes más moderadas, tales como las de la escuela nueva, proponen una metodología en la cual el alumno es el centro de la enseñanza y el profesor no es más que un facilitador o acompañante en el proceso de enseñanza-aprendizaje durante el cual el estudiante adquiere por sí mismo los conocimientos que debe aprender y aprehender y tanto él como el profesor se benefician del proceso.

En su lúcido artículo, “Hacia una pedagogía dialogante” Julian de Zubiría² nos presenta los modelos pedagógicos de Luis Not: el modelo heteroestructurante y el autoestructurante. El primero considera que el conocimiento se crea fuera del salón de clase y que la función del profesor es transmitir lo que podríamos llamar el conocimiento codificado de una determinada ciencia. De Zubiría dice del modelo autoestructurante: “Los niños y los jóvenes son vistos como verdaderos artesanos y

¹ www.sudval.com/01_abou_01.html

² de Zubiría, J. Hacia una Pedagogía Dialogante: El Modelo Pedagógico del Merani”, <http://www.institutomerani.edu.co/publicaciones/docs-pdf/general/Hacia-una-pedagogia-dialogante.pdf> (consultado el 23 de mayo de 2014)

constructores de su propio desarrollo (Not, 1983) y la escuela tiene frente a sí la tarea de favorecer la socialización, promover el interés y hacer sentir feliz al niño.” Nótese que es éste el modelo de la escuela nueva y de la pedagogía constructivista.

Un punto muy importante tiene que ver con la enseñanza de las ciencias y de las matemáticas. En el nivel preuniversitario es muy difícil creer que el niño y el joven pueden llegar a construir el conocimiento acumulado por la humanidad en las disciplinas científicas. Felizmente, de Zubiría reconoce este problema cuando dice:

Los conceptos espontáneos se adquieren empíricamente, comparando las características externas y partiendo de lo concreto y perceptible visualmente; por ello, pueden ser adquiridos sin existir las escuelas.. Los conceptos científicos – como demostró Vigotsky (1992)– expresan las características internas de la naturaleza y la sociedad, y, por lo tanto, no son percibidos directamente de la realidad.. Así por ejemplo, la ley de la gravitación no es visible al ojo humano, como tampoco lo son los átomos, las micropartículas, la relatividad, el poder, las revoluciones sociales, los agujeros negros o la relación entre la inflación y la devaluación de las monedas. Los conceptos científicos no se forman a partir de nuestra experiencia y vivencias cotidianas. Si así fuera, no serían necesarias las escuelas ni los docentes..

Los conceptos científicos adquieren su sentido y validez en tanto hagan parte de un sistema de proposiciones organizado y jerarquizado, ya que son teóricos y abstractos. Por ello, no son aprehendidos en la experiencia cotidiana. Requieren de un mediador para que los podamos aprehender, requieren de un maestro y una escuela que deliberada e intencionalmente estén interesados en que sus estudiantes logren aprehenderlos.”

2. De la discusión anterior queda claro que la ciencia y las matemáticas requieren la mediación de un maestro en el nivel preuniversitario, independientemente del modelo hetero o autoestructurante adoptado por la escuela. Es decir, que se requiere un modelo pedagógico propio para su enseñanza que busque la manera de que los conceptos por naturaleza abstractos de las ciencias y de las matemáticas sean aprehendidos por los estudiantes, más allá de que se les obligue a consignar en la memoria una serie de hechos descontextualizados y a que aprendan a través de la solución de problemas de texto a resolver problemas que frecuentemente no tienen relación con la realidad en la que viven.

Pero si esto es cierto para la escuela preuniversitaria, ¡cuánto más lo es para el caso de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas en la universidad! Por eso, en el presente ensayo dirigiremos nuestra atención a los siguientes aspectos: 1) El conocimiento; 2) Transmisión del conocimiento y 3) Estrategias para la transmisión del conocimiento. En este documento se incorporarán *verbatim* partes de dos

documentos previos³ presentados por el autor y discutidos en las asambleas XXI de Cali y XXIII de Carmen de Viboral, Universidad de Antioquia.

3. Naturaleza del conocimiento.

La naturaleza del conocimiento es algo que se debate en el ámbito de los filósofos y no profundizaremos en esa discusión, ya que nos interesa más cómo se construye y se transmite el conocimiento. Sin embargo, es necesario hacer algunas consideraciones que son, necesariamente, superficiales acerca del concepto: conocimiento. Para Aristóteles, el conocimiento podía ser de dos tipos: episteme y techne y era claramente diferenciable de doxa u opinión. El episteme es el conocimiento verdadero, verificable, que algunos filósofos modernos llaman conocimiento científico. Tiene que ver con teorías o verdades inmanentes que no cambian según las circunstancias, tales como las relaciones entre los ángulos de un triángulo o la relación entre el radio y la circunferencia. Por el otro lado estaba techne, el conocimiento necesario para hacer un objeto determinado o para llevar a cabo una acción. Es el conocimiento que se requiere para hacer una espada bella, afilada e irrompible en el fragor de la batalla o el que se debe tener para liderar un ejército o gobernar a los ciudadanos de una nación. Techne es obtenido a través de la experiencia mientras que episteme es absoluto y sólo se puede obtener a través de su apropiación por parte del estudiante. Nótese que tanto el episteme como el techne implican un conocimiento que podríamos llamar cierto e, inclusive, verificable, mientras que existe otro tipo de conocimiento no verificable, basado en la opinión, la doxa. La doxa tiene que ver con las ideas, prejuicios, posiciones, tradiciones, creencias de todo un pueblo, o de una parte de un pueblo. No es comprobable, pero adquiere el carácter de certeza o verdad para una porción importante de una sociedad y de alguna manera determina el comportamiento individual y grupal. Puede ser construido, manipulado y adaptado por los medios de comunicación y por los líderes civiles y religiosos y se basa en la fe y no en la experimentación.

Platón había antecedido estos conceptos al decir que las ideas son innatas e independientes de la experiencia y que el conocimiento es precisamente el apropiarse de esas ideas. Para Platón no hay una clara diferencia entre el episteme y el techne y a veces los usa intercambiamente, pero queda claro que la idea como tal es independiente del sujeto y que éste se la apropia cuando de alguna manera la consigna a la memoria y la utiliza. Como veremos más adelante, algunos psicólogos actuales retoman esa idea para aproximarse al entendimiento del conocimiento.

Immanuel Kant, tratando de comprender la naturaleza de la razón moral introdujo un concepto esclarecedor. Hablando de la naturaleza de las cosas, diferenció entre "*das ding an sich*", la cosa en sí misma, y "*das ding fur mich*", lo que la cosa es para mí. La cosa en sí misma es lo que es y no puede ser otra cosa y tiene una existencia propia independientemente de si yo la entiendo o no. Pero yo puedo buscar entender, es

³ Corredor, C. "*Reflexiones sobre Evaluación*" y "*Enseñanza de la Ciencia en la Universidad*" www.acofacien.org/documentos/institucionales

decir, conocer la cosa hasta donde me lo permiten las limitaciones del conocimiento y de la técnica existente.

A partir de estos conceptos, podemos decir que existen varios tipos de conocimiento. El conocimiento en el caso de las ciencias físicas y naturales y las matemáticas, es lo que podemos llamar conocimiento científico o verificable, bastante cercano al episteme de los griegos. El conocimiento científico se basa en la observación del fenómeno que se quiere conocer y en proponer una primera aproximación a una explicación del fenómeno, una conjetura, una hipótesis, que luego tiene que ser validada a través de experimentos, como lo propuso inicialmente Francis Bacon, o a través de la prueba sistemática de la conjetura a través de un método que nos viene de los primeros filósofos griegos, especialmente de Pitágoras. A este procedimiento se aplica ahora el nombre de método científico positivo.

La aplicación sistemática del método científico positivo resulta en leyes y teorías sobre el mundo físico, tanto abiótico como biótico. El conjunto de estas leyes y teoría constituye un paradigma científico que aplica en cualquier lugar del universo, siempre y cuando el fenómeno se dé en las mismas condiciones. La ley de la gravedad o las leyes del electromagnetismo no cambian de acuerdo con lugar o tiempo. Es precisamente esta inmutabilidad lo que permite que a través de ellas se puedan predecir fenómenos físicos futuros tales como los eclipses.

Pero el conocimiento científico no se limita al campo de las leyes y teorías consolidadas, sino que también está en constante construcción a través de pequeños avances en nuestro entendimiento de los fenómenos que queremos explorar. Desde ese punto de vista, podemos también decir que el conocimiento científico es un acervo acumulativo proveniente de los hallazgos de miles de investigadores que permiten que la “cosa para mí” se aproxime cada vez más a la “cosa en sí misma”. Desde este punto de vista podemos decir que el conocimiento científico es provisional, que está en continuo cambio, que se consolida poco a poco a través de la controversia entre diferentes autores que reportan hallazgos contradictorios, que puede ser muy parcial y que no da cuenta total del fenómeno en cuestión. Como proponía Popper, está en construcción continua a la manera de cómo se acerca uno al corazón de una cebolla quitando capas y capas sucesivas.

Finalmente, podemos también decir que el conocimiento científico es apenas un modelo racional, matemático o matematizable de la realidad de los fenómenos físicos y naturales, pero no es el fenómeno mismo.

La pregunta que surge es ¿de qué manera aparece y se guarda este conocimiento, este modelo de la realidad en nuestro cerebro? Kant, en su *Crítica de la Razón Pura*, dice: “a [la] representación de un procedimiento universal de la imaginación para suministrar a un concepto su propia imagen es a lo que yo llamo un esquema trascendente de este concepto.” En este sentido, los esquemas son una conexión entre los conceptos a priori y las categorías y, por consiguiente, tienen su propia existencia que permite que un objeto real se conforme al concepto ideal del objeto que tiene el

observador. Este concepto de esquemas trascendentales (schemata) ha sido utilizado por los psicólogos para describir una estructura cognitiva o un concepto que ayuda a organizar y a interpretar la información. Fue el psicólogo británico Frederic Barlett quien en su libro pionero, *Remembering* (1932), introdujo la idea de esquemas que ha sido recientemente retomado por Wagoner.⁴ Para Barlett, el término esquemas quiere decir: “trazas o grupos de trazas construidas o guardadas en la mente o en un organismo como consecuencia de un evento determinado. Posteriormente, un estímulo inmediato re-excita la traza o grupo de trazas.... y la traza que de alguna manera tiene una marca temporal, hace que la re-excitación equivalga a una reminiscencia”. Esta es una idea que se ha venido manejando desde Platón quien propuso que en nuestra mente existía algo semejante a una tabla de cera sobre la que se fijaban los eventos y que constituye la memoria. De esta manera, podemos decir que estas estructuras cognitivas, estas eschemata, se pueden guardar en sitios específicos en nuestro cerebro y se pueden traer nuevamente al consciente cuando se presentan estímulos para hacerlo.

Rumelhart y Ortony (1977)⁵ proponen una forma detallada de construcción del conocimiento desde la teoría cognitiva, pero sin dar un correlato molecular a la misma. Ellos mantienen que el conocimiento se guarda en la memoria en bloques interactuantes que representan conceptos. A estos bloques los llaman schemata (esquemas conceptuales), siguiendo la idea kantiana. Proponen que existen para “conceptos genéricos que se encuentran subyacentes en objetos, situaciones, eventos, secuencias de eventos, acciones y secuencias de acciones.” Sin embargo, no son independientes sino que contienen como parte de su misma especificidad, la red de interrelaciones que generalmente unen a los constituyentes del concepto mismo. Los autores van más lejos y dicen que los esquemas pueden ser estereotipos de los conceptos y en esto se aproximan a la idea de Barlett. Los esquemas tienen cuatro características que en conjunto son necesarias para representar conocimiento en la memoria: 1) los eschemata tienen variables; 2) es posible incorporar un eschema en uno más amplio; 3) los schemata representan conceptos genéricos que pueden variar en su nivel de abstracción y 5) los schemata representan conocimiento y no definiciones.

Ifenthaler y Steel definen los esquemas como un “objeto con un set de atributos que el individuo percibe como que están asociados con una idea”. La estructura cognitiva del que aprende está constituida por esquemas y por las relaciones entre esos esquemas. Los esquemas se guardan en la memoria a largo plazo, y cuando un estudiante se encuentra con un problema nuevo, toma los esquemas y construye con ellos en la memoria a corto plazo o memoria de trabajo un constructo transitorio, un modelo mental, para resolver el problema o contestar una pregunta.

⁴ Wagoner B. Bartlett's Concept of Schema in Reconstruction 2013: Theory and Psychology. 23(5), 553-575

⁵ Rumelhart DE, Ortony A. The Representation of Knowledge in Memory. In R.C. Anderson, R.G. Spiro and W.E. Montague, eds. *Schooling and the acquisition of knowledge*, (pp 99-135) Hillsdale NJ: Erlbaum

A pesar de los muchos estudios que se han hecho para entender la forma como el cerebro funciona para producir ideas, los resultados se han limitado a mostrar las áreas del cerebro que de alguna forma tienen que ver con ciertas actividades cognitivas. Sin embargo, hasta el momento tan sólo hemos podido hacer mapas de las regiones comprometidas.

A nivel molecular, Lareo y Corredor trataron de darle una base molecular a la estructuración del conocimiento.⁶ Proponen que el conocimiento se va construyendo a partir de estímulos sensoriales que van creando circuitos de neuronas que reverberan cuando el mismo estímulo aparece. Cada vez que el mismo estímulo incide en los receptores, el circuito de neuronas inicialmente formado se dispara y recluta nuevas neuronas en la misma y en otras regiones del cerebro. El circuito inicial no es permanente ya que las conexiones sinápticas iniciales posiblemente involucran RNA. Sin embargo, cuando los circuitos se disparan una y otra vez, el receptor NMDA del glutamato establece conexiones sinápticas permanentes que hacen que el circuito se dispare como una unidad cada vez que recibe el mismo estímulo. Los circuitos neurales adicionales reclutados constituyen nuevos circuitos permanentes que modifican el circuito inicial y le dan nuevas características dependientes de las condiciones en las que se recibió el nuevo estímulo. Estos circuitos van constituyendo la memoria a largo plazo y es posible que sean las estructuras físicas que corresponden a los esquemas conceptuales (schemata) kantianos, como se manejan hoy por neuropsicólogos como Rumelhart y su capacidad de generar nuevos circuitos a medida que se tienen nuevos estímulos serían un escenario físico para el concepto de la espiral ascendente cada vez más amplia de Piaget.

4. Procesos cognitivos.

Pero si bien el concepto mismo del conocimiento es importante desde el punto de vista filosófico, desde el punto de vista práctico lo más importante es cómo los seres humanos adquieren conocimiento con el objeto de entender los procesos educativos, y poder evaluarlos para mejorar tanto el proceso como el producto del proceso que es el egresado de la educación institucionalizada.

En el caso de la Universidad, Perez-Lindo⁷ et al. proponen que se puede gestionar el conocimiento, para lo cual se deben manejar entre otros: una teoría del conocimiento y una metodología para transmitir y aplicar los conocimientos. Pero desde nuestro punto de vista, se tiene que tener en cuenta otra dimensión de particular importancia: la evaluación.

⁶ Lareo L. Corredor C. "Molecular Correlate of Consciousness" en Turrini, S.K, ed. *Consciousness and Learning Research*, Nova Science Publ Inc 2007, pp. 97-117

⁷ Pérez Lindo A, Ruiz Moreno L, Varela CG, Camós CT, Trottini AM, Luján Burke M. Gestión del conocimiento. Un nuevo enfoque aplicable a las organizaciones y a la universidad. 1a ed. Buenos Aires: Norma; 2005.

Confrontados con el problema de evaluar la educación formal de los estudiantes, en 1948 un grupo de psicólogos interesados que asistían a la Convención de la American Psychological Association en Boston llegaron a la conclusión de que era necesario tener un marco teórico que permitiera intercambio de material e ideas acerca de exámenes y pruebas y que, además, fuera útil para relacionar la educación con los exámenes. Entre 1949 y 1953 se llevaron a cabo varias reuniones de un comité que trató de definir los objetivos del aprendizaje, bajo la presidencia de Benjamin Bloom, que culminaron con la publicación en 1956 del libro *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals*, que se conoce como la taxonomía de Bloom. La taxonomía define tres “dominios”: cognitivo, afectivo y psicomotor y propone que la adquisición de niveles superiores del conocimiento requiere el haber adquirido previamente conocimientos y herramientas de niveles inferiores. Bloom y Krothwohl desarrollaron el dominio cognitivo en el primer handbook publicado en 1956.⁸ Krothwohl publicaría en 1964 el Handbook II sobre el dominio afectivo y nunca se publicó un handbook III sobre el dominio psicomotor. A finales del año 2000, Lorin Anderson y David Krathwohl retomaron la taxonomía original y en el libro *taxonomy for learning, teaching and assesing: a review of Bloom’s taxonomy of educational objectives*⁹ propusieron unos cambios a la taxonomía del dominio cognitivo conservando el concepto original. Aunque, como dicen los descriptores del handbook, el texto es útil para los profesores del 1 al 12 grado, es decir, para el nivel preuniversitario, confirmando nuestra preocupación de que el problema de la educación se ha centrado en ese nivel, los conceptos expresados son útiles para nuestra discusión de la evaluación en ciencias.

Según Anderson y Krothwohl, los procesos cognitivos se jerarquizan en seis dimensiones, que en la terminología de Bloom van de la más elemental a la superior: 1) Recordar, 2) entender, 3) aplicar, 4) analizar, 5) valorar y 6) crear. Pero para cada dimensión, el conocimiento implícito se jerarquiza, a su vez, en cuatro niveles, de menor a mayor: 1) fáctico; 2) conceptual; 3) procedimental y 4) metacognitivo. Una matriz en la que tenemos el proceso cognitivo por un lado y los niveles del conocimiento por otro, puede ser muy útil al tratar de construir un currículo y ha sido utilizado con este propósito.

Niveles de Conocimiento	Procesos Cognitivos					
	1. Recordar	2. Entender	3. Aplicar	4. Analizar	5. Valorar	6. Crear
Fáctico						
Conceptual						
Procedimental						
Metacognitivo						

⁸ Bloom B.S. Krathwohl, D. R. 1956. *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by a committee of college and university examiners. Handbook I: Cognitive Domain*. NY, NY: Longmans, Green

⁹ Anderson L Krothwohl D eds. 2000. “Taxonomy for learning, teaching and assesing: a review of Bloom’s taxonomy of educational objectives”. Allyn and Bacon, N.Y. 336 páginas.

De acuerdo con esta tipología, existirían cuatro tipos de conocimiento: fáctico, conceptual, procedimental y metacognitivo, pero para cada uno de esos tipos existirían unos procesos que tienen que ver con la memoria, la comprensión, la aplicación, el análisis, la valoración y la creación de nuevo conocimiento.

Dado que la tipología de Bloom se diseñó como un marco teórico para poder evaluar los procesos de formación en la educación media, no hay un verdadero esfuerzo de definir el conocimiento como tal. Las definiciones nos las encontramos en trabajos posteriores del grupo de Krathwohl.

En efecto, A finales del año 2000, Lorin Anderson y David Krathwohl¹⁰ editaron el libro, “A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives”, en el que retoman las propuestas originales de Bloom y las desarrollan para aproximarse a una visión comprehensiva no sólo de la evaluación sino de los propósitos mismos de la educación. Definen los cuatro tipos de conocimiento así: 1) fáctico, que consiste de los elementos básicos que los estudiantes deben poseer para el manejo de una disciplina y que incluyen terminología y detalles sobre aspectos específicos de la disciplina. 2) conceptual, que consiste de la interrelaciones entre los elementos básicos de una estructura mayor y que les permite funcionar conjuntamente; 3) procedimental que consiste en saber cómo hacer algo, los métodos de indagación y los criterios para el uso de habilidades, algoritmos, técnicas y métodos y 4) metacognitivo que consiste del conocimiento de la cognición en general y de la propia cognición.

Bloom define el nivel más bajo de conocimiento como “recordar información memorizada, desde datos específicos hasta teorías completas.” Este es un conocimiento memorístico, propio de cada disciplina. El nivel de comprensión implica la habilidad de dominar el sentido del material. Involucra la capacidad de explicar, de predecir, de interpretar, de inferir, de resumir, de convertir, de traducir, de construir ejemplos o modelos. El nivel de aplicación implica la competencia para aplicar conceptos y principios a nuevas situaciones, aplicar leyes y teorías para soluciones prácticas, resolver problemas matemáticos, construir tablas y gráficos y demostrar el uso correcto de un procedimiento.

En la taxonomía de Bloom, como en los trabajos más recientes, el problema de la naturaleza del conocimiento se sobreentiende. En el caso de las ciencias y las matemáticas, tendremos como telón de fondo que el conocimiento que manejamos es conocimiento verificable y que éste puede ser usado como base para crear nuevo conocimiento o para fines más prácticos en la ingeniería, la medicina y otras carreras basadas en conocimiento verificable.

¹⁰ Anderson L. Krathwohl D. Airasian P. Cruikshank K. Mayer RE. Pintrich P. Raths J. Wittrock M. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives, Abridged Edition. 2000. Allyn & Bacon, Boston. U.S.A.

A partir de esta primera clasificación de niveles de conocimiento se han introducido otros que son básicos a la hora de determinar procesos de enseñanza de la ciencia y de las matemáticas en la universidad. Quizás uno de los más interesantes es el que utiliza eclécticamente los niveles y procesos de Bloom para construir una escala de conocimiento. La siguiente puede ser una aproximación a estas ideas.

NIVELES DEL APRENDIZAJE		ESCALERA DEL CONOCIMIENTO	
SABIDURIA	ESPIRITUALIDAD		INSPIRACION
TRASCENDENTE	APECTIVO		CONDUCCION
	INTROSPECCION		
TRANSFORMACIONAL	ENSEÑAR		LIDERAZGO
	DESARROLLO PERSONAL	SIGNIFICATIVO	PRODUCCION
EFECTIVO	REFLEXIONAR		METACOGNICION
	ACCIONAR		
	COMPRENDER		
INFORMACION	MEMORIZAR	RUTINARIO	
	ENTENDER		
	IDENTIFICAR		

FUENTE: Santos Depine (comunicación personal y elaboración del autor)

Pero las ideas acerca de la evaluación o la categorización del conocimiento no se han quedado a nivel de la Educación. Martínez y Ruiz¹¹ en un trabajo presentado al XVI congreso de la Academia Europea de Dirección y Economía de la Empresa desarrollan el tema de la forma como se adquiere y se categoriza el conocimiento en las empresas partiendo de las propuestas de Kolb y de Kim que definen la acción como la dinamizadora de todo proceso sobre la cual hay que observar y reflexionar. Discuten la propuesta de Crossan et al. quienes introducen un concepto frecuentemente soslayado por los teóricos de la educación y la investigación que es la intuición. Esta es una característica individual que tienen algunas personas y que consiste en *“el reconocimiento preconsciente de las similitudes y diferencias entre los distintos modelos y posibilidades, asociándolos a alguno ya existente, que permite saber qué hacer casi espontáneamente”*.¹² Basándose en los diferentes modelos que discuten, Martínez y Ruiz proponen que el proceso de aprendizaje consta de las siguientes actividades: captación de la información, consideración, reflexión, interpretación, evaluación,

¹¹Martínez-Leon I. Ruiz-Mercader J. “Los procesos de creación del conocimiento: el aprendizaje y la espiral de conversión del conocimiento” XVI Congreso Nacional de AEDEM, disponible en <http://www.upct.es/~economia/PUBLIO/LOS%20PROCESOS%20DE%20CREACION%20DEL%20CONOCIMIENTO-%20EL%20APRENDIZA.pdf>

¹² Crossan, MM. Lane, HW White, RE. 1999: “An organizational learning framework: from intuition to institution”. Academy of Management Review, 24, (3), 522-537.

integración en los modelos mentales y/o memoria e implantación. Nótese que en este modelo no se define el conocimiento como tal, sino cuál es el proceso para adquirirlo.

Este modelo es muy interesante cuando se trata de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. En efecto, la enseñanza comienza con la obtención de la información existente. Hasta el momento, la forma “correcta” de obtener la información que se quiere que el estudiante aprenda comienza con la escogencia de un libro de texto. Sin embargo, en el caso de las ciencias naturales éste puede ser un problema ya que el conocimiento está en construcción continua y, salvo por los paradigmas y las leyes consolidadas, el libro de texto casi es obsoleto en el momento de su publicación. Si, además como es el caso en nuestro país, sólo se aceptan los textos de las grandes editoriales norteamericanas, el proceso de traducción hace que los datos ya no sean pertinentes en el momento en el que llegan a manos de los estudiantes. Para el caso del posgrado es claro que no hay textos guías, sino que se va directamente a la literatura. Estas consideraciones no aplican en el caso de las matemáticas, cuyos conceptos están consolidados, excepto por los ejemplos y ejercicios que son generalmente ajenos a la experiencia del profesor y del estudiante.

En 1958 Michael Polanyi¹³ introdujo el concepto de conocimiento tácito para expresar el tipo de conocimiento no codificado que se encuentra representado en el talante o modo de ser o hacer del conocedor, quien conoce mucho más de lo que puede transmitir en forma codificada. Este concepto fue posteriormente ampliado por el autor en 1967.¹⁴ El ejemplo clásico es saber montar en bicicleta o saber nadar que son actividades que se ejecutan de acuerdo a la manera como cada quien las ha logrado dominar y estereotipar en su cerebelo, pero que no se pueden transmitir sino con el ejemplo y la práctica. Contrario al conocimiento tácito es el conocimiento explícito o codificado, el que se encuentra en libros, enciclopedias, tablas, etc., que es un conocimiento transferible de persona a persona a través de un medio específico como libro, revista, y actualmente los buscadores y bases de datos que se encuentran disponibles en internet.

5. Hasta acá hemos presentado una visión somera de la naturaleza del conocimiento y de cómo se evalúa el conocimiento en el ambiente escolar y en las empresas. Sin embargo, en los últimos años el producto del sistema de educación colombiana, desde la secundaria hasta la universidad, se ha visto confrontada a una evaluación en relación con los resultados de sistemas educativos nacionales de otros países. En relación con el sistema de educación preuniversitario, las pruebas PISA han prendido las alarmas en los países iberoamericanos, ya que en la prueba general nuestros países se colocaron en lo más bajo de la lista, y Colombia ocupó el penúltimo lugar, mientras que en las especiales, España se colocó en el peor puesto entre los países de la OCEAD.

¹³ Polanyi M. 1958 *Personal Knowledge. Towards a postcritical Philosophy*. London. Routledge. 428 páginas

¹⁴ Polanyi M. 1967. *The tacit dimension*, New York:Anchor books. 108 páginas.

A nivel de la educación superior nos encontramos, no con una evaluación a nivel internacional, sino con un cambio en la forma de evaluar en forma sistematizada los resultados de la formación universitaria a nivel genérico y a nivel individual por carreras en las pruebas SaberPro. En ambos casos, el problema parece ser el mismo: los estudiantes no saben aplicar los conocimientos adquiridos cuando se tienen que enfrentar a problemas nuevos. Y en ambos casos parece que hay otra causa subyacente: los estudiantes no saben leer críticamente.

Sin ahondar en ninguno de los dos, vale la pena señalar que el problema también se da en países de habla inglesa, como lo señala Misty Adoniou de la Universidad de Camberra, Australia, en su artículo *Are our kids failing in maths because they can't read?*¹⁵ En nuestro medio, las pruebas Saber 11 y aún las SaberPro también muestran este problema. Pero en tanto en las pruebas PISA como en las SaberPro se encuentra que, además de la lectura comprensiva, el mayor problema es que los estudiantes no saben utilizar el conocimiento para resolver problemas nuevos.

Este mismo problema se presenta en las empresas, razón por la cual Nonaka y Takeushi¹⁶ comenzaron en la década de los años 90 una serie de estudios de caso de empresas japonesas innovadoras y exitosas que les permitió avanzar una teoría de la manera como se adquiere el conocimiento individual y el colectivo y cómo se puede utilizar para mejorar los procesos existentes, crear nuevos y producir nuevo conocimiento. Si bien esta teoría inicialmente sale del mundo empresarial y está siendo utilizada con éxito en el mundo de la empresa, muchos educadores han comenzado a aplicarla a los procesos de enseñanza.

La base de las teorías actuales de adquisición del conocimiento parten de unas premisas claramente identificadas: 1) El conocimiento es un constructo social que puede ser generado y apropiado por grupos sociales; 2) El conocimiento se transfiere de una persona que posee el conocimiento a otra u otras personas que no tienen ese conocimiento; 3) el conocimiento parte de la observación o de las creencias de un individuo que, puestas a discusión con otras personas, a través de un proceso de reflexión y análisis se convierten en conocimiento; 4) tanto el conocimiento individual como el conocimiento grupal tiene dos aspectos que son interactuantes: el tácito y el explícito y 5) el conocimiento socialmente adquirido puede dar lugar a su utilización para generar productos.

Para entender la teoría y la manera como fue construida, vale la pena leer el artículo de McLean¹⁷ en el que hace una revisión y crítica de la teoría de construcción del conocimiento de Nonaka Y Takeushi. Se debe rescatar de este artículo la definición de conocimiento sobre el que basan su teoría Nonaka y Takeushi: “creencia verdadera

¹⁵ Adoniou, M. *Are our kids failing in maths because they can't read?* Explainer 25 February 2014.

¹⁶ Nonaka I. Takeushi H 1995 *The knowledge-creating company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. New York-Oxford.

¹⁷ McLean LD “A Review and Critique of Nonaka and Takeushi’s Theory of Organizational Knowledge Creation” disponible en <http://mcleanglobal.com/public/MGC/publications/Nonaka%20and%20Takeuchi.pdf>

justificada”. Es importante tener en cuenta esta definición, ya que parte de una definición diferente a lo que hemos discutido como conocimiento. Pero, de hecho, es exactamente de lo que partimos cuando estamos enseñando ciencia. Es lo que el profesor cree que es verdadero y es justificado a través de lo que queda consignado en los libros. Y lo que es más, es lo que el estudiante va a creer que es conocimiento verificable una vez se haya terminado el proceso enseñanza-aprendizaje y esa creencia se haya consolidado en su memoria y se haya justificado a través de un examen exitoso.

Nonaka y Takeushi proponen que la construcción del conocimiento tiene una dimensión epistemológica y una dimensión ontológica. La dimensión epistemológica está constituida por el conocimiento tácito y el conocimiento explícito que posee un individuo. El conocimiento ontológico tiene que ver con la organización. El primer elemento es el individuo y el conocimiento que él posee. Los otros elementos son el grupo al que pertenece el individuo, la organización que está compuesta de varios grupos y, finalmente, las diferentes organizaciones. El conocimiento individual se puede compartir con otros miembros de la organización y, a través de la reflexión colectiva se convierte en conocimiento del grupo. Este conocimiento grupal, a su vez, tiene las dos dimensiones epistemológicas y a través de ser nuevamente compartido y discutido globalmente entre grupos se va obteniendo mayor conocimiento que ahora hace parte de toda la organización. Si este conocimiento se comparte con otras organizaciones se obtiene un producto final del conocimiento que puede tener aplicación para obtener nuevos productos o procesos. La teoría propone que la construcción del conocimiento es una siempre creciente espiral. La figura 1, originalmente construida por Nonaka y Takeushi, resume el proceso.

Muchos autores han venido haciendo aportes y críticas a la teoría original de Nonaka y Takeushi, incluyendo nuevos aportes de Nonaka. Para nuestros propósitos, un excelente interpretación es la de Martínez y Ruiz¹⁰ ya citados. El problema del conocimiento tácito y el conocimiento explícito no significa que existan dos tipos de conocimiento sino que son dos estados del conocimiento. Refiriéndose al conocimiento tácito, dicen los autores:

“El conocimiento tácito es un “conjunto de percepciones subjetivas, intuiciones, rituales, entendimientos que son difíciles de expresar de una forma semántica, auditiva o visual” (Byosiére, 1999) y, por tanto, es complicado de formalizar, comunicar y compartir con otros, y por consiguiente de copiar. Está profundamente enraizado en la acción individual y en la experiencia, así como en los ideales, valores o emociones que el sujeto adopta (Nonaka, 1991, Nonaka y Takeuchi, 1995, Nonaka y Konno, 1998) y en su contexto. Además, no puede ser transferido ni comercializado como una entidad separada (Osterloh y Frey, 2000) debido a sus propias particularidades.

Este conocimiento incorpora elementos técnicos y cognitivos, derivados de sus respectivas dimensiones. La dimensión técnica engloba las habilidades, capacidades o destrezas generadas por los modelos de trabajo creados por los seres humanos (Byosiére y Nonaka, 1996), susceptibles de enseñanza, pero difíciles de articular.”

Esta es una extensión de la afirmación de Polanyi: Sabemos más de lo que creemos. Es posible que todo lo anterior se pueda resumir en algo así como que el talante de un individuos es su conocimiento tácito.

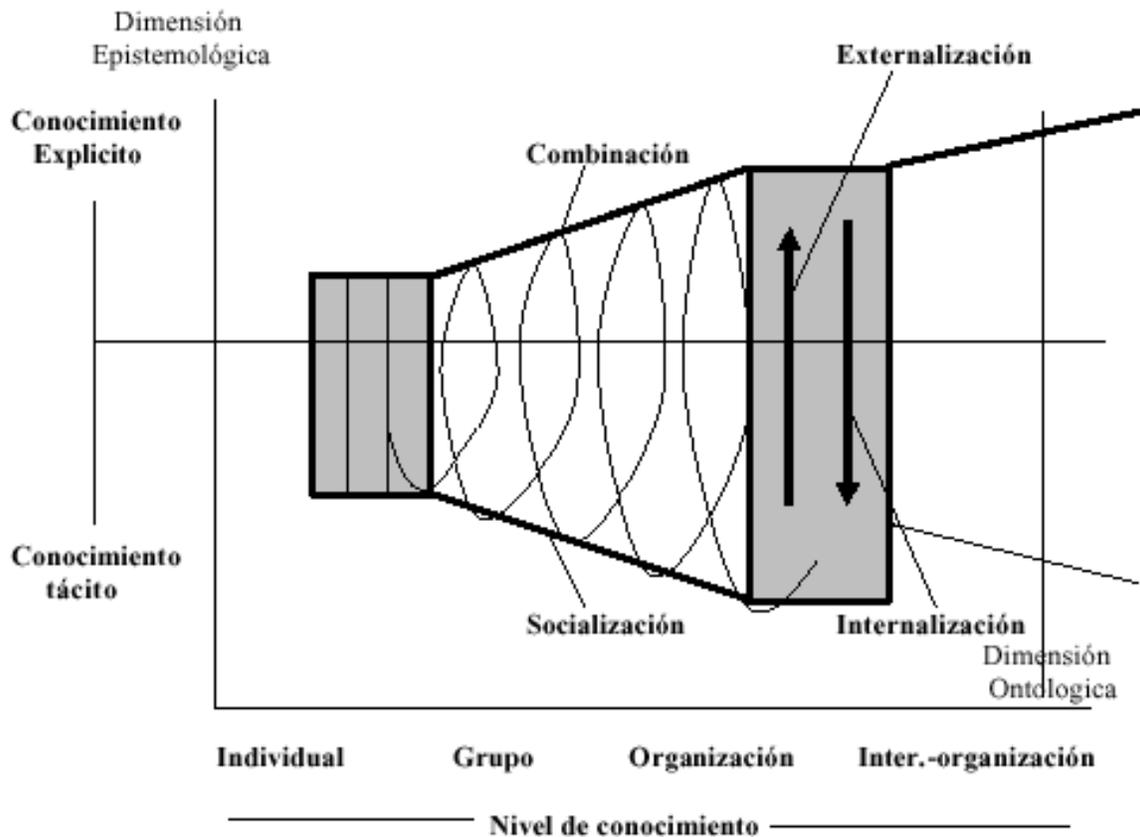


Figura 1. La Construcción del Conocimiento. Fuente: Nonaka y Takeushi. 1995

Por el otro lado, el conocimiento explícito es el que se encuentra codificado en el lenguaje, en los escritos, en las imágenes, en procesos auditivos, en bases de datos. Es un conocimiento independiente del individuo, pero que puede ser apropiado por el individuo a través de procesos de adquisición de información codificada. Puede ser transmitido total o parcialmente de individuo a individuo. Puede originarse en el mismo individuo a través de la observación y de la experiencia que él mismo puede codificar y así transmitir a otros individuos. Para Martínez y Ruiz, “*el conocimiento explícito es fruto de un proceso de aprendizaje o de la espiral de conversión del conocimiento*” y está abierto a la colaboración entre individuos, excepto cuando está protegido por patentes.

Es a partir de estas dos formas de conocimiento como Nonaka y Takeushi construyen su teoría, como puede verse en la figura 1. Hay otras interpretaciones de esta espiral del conocimiento, como por ejemplo la que aparece en la figura 2.



FUENTE: ELABORACION PROPIA

FIGURA 2. La espiral de la adquisición de conocimiento.

La teoría propone que el conocimiento se adquiere en cuatro fases. En la primera, *Socialización*, un individuo transfiere a otro su propio conocimiento tácito a través de compartir ideas, experiencias, vivencias. Esto se logra por interacción con agentes externos que pueden ser clientes. En la *externalización* se pasa del conocimiento tácito al explícito creando medios de codificar el conocimiento tácito adquirido y consignarlo en formas que puedan ser claramente entendidas e internalizada por cualquier persona. Este conocimiento se organiza y se formaliza para que en la siguiente fase, *combinación*, se identifiquen los conocimientos pertinentes, se reflexione sobre su significado y, logrando una síntesis de conocimiento explícito pueda ser comunicado en la cuarta fase, *internalización*, a los miembros del grupo que

lo convierten en su propio conocimiento tácito a través de la selección e internalización de lo que el grupo considera pertinente, útil y práctico. A partir de esta internalización del conocimiento que es ahora corporativo se reinicia el proceso en una espiral.

Mohamed Chatti¹⁸ ha venido trabajando en el proceso del aprendizaje y publica un blog con los resultados de su trabajo. A partir de los conceptos de Nonaka ha propuesto un proceso de aprendizaje basado en el modelo SECI (Socialización, Externalización, Combinación, Internalización). El conocimiento tácito de muy buena calidad que se encuentra en todos los individuos, aunque no es fácilmente expresable, se logra transmitir de una persona a otra a través de trabajar en un contexto social en el que se observa al otro, se le imita, se participa en discusiones y en reflexión colectiva y se asimilan conceptos y creencias. No se limita al ambiente físico de reunión sino que puede extenderse a otras personas y grupos a través de redes y prácticas comunitarias. Por consiguiente, un sistema de aprendizaje debe partir de un ambiente efectivo de colaboración entre los miembros de la comunidad educativa.

Este conocimiento tácito se convierte en conocimiento explícito a través de la externalización. Para lograrlo, los individuos deben expresar sus propias ideas e imágenes mentales a través de palabras, conceptos, metáforas, narración, etc. Este proceso implica la descontextualización, es decir, el abstraer el conocimiento de las condiciones y situaciones de donde se obtuvo para hacerlo aplicable en cualquier contexto nuevo. Este es, quizás, el más difícil proceso en nuestro propio sistema en el que el estudiante no logra separar el conocimiento adquirido en el salón de clase en donde el objetivo es pasar un examen para hacerlo útil en cualquier situación. Lograr este objetivo involucra un gran esfuerzo de planificación para definir un producto de conocimiento, las metas y requisitos para lograrlo y el uso potencial que se le pueda dar. Se debe identificar el usuario potencial del conocimiento, sus necesidades, sus competencias, sus propósitos de aprendizaje, su capital intelectual, así como los niveles de conocimiento que requiera, pasando de la condición de novicio a la de experto. El proceso de externalización requiere del uso de modelos, esquemas mentales y debe ser modular. Los objetos de conocimiento deben estar totalmente actualizados. Chatti hace énfasis en lo que en ciertos ambientes académicos se llaman objetos de conocimiento (learning objects) que son elementos o piezas de conocimiento que pueden ser utilizados individualmente o combinados en diferentes formas con otros objetos de conocimiento. Estos objetos de conocimiento podrían ser equivalente a los esquemata o paquetes de conocimiento que se guardan en la memoria. Se diferencian de los esquemata en que son piezas de conocimiento codificado que pueden ser guardados en bases de datos y a los que se puede llegar a través de minería de datos. De esta manera, en esta fase se codifica en forma de objetos de conocimiento los conocimientos tácitos intercambiados en la primera fase.

En la Combinación los objetos de conocimiento se pueden categorizar, indexar, anotar, analizar, reutilizar, revalorizar, compartir y diseminar. En esta etapa, es crucial tener

¹⁸ Chatti, M. Mohamed Chatti's blog on Research on Learning Process, October 4, 2006 disponible en mohamedaminechatti.blogspot.com

sistemas digitales de comunicación que permitan encontrar formas nuevas de utilizar los objetos de conocimiento. Finalmente, en la Internalización los individuos y el grupo se apropian del conocimiento explícito generado, lo internalizan y lo convierten en conocimiento tácito. Chati dice que el proceso puede asimilarse a aprender haciendo en el que el conocimiento se personaliza.

De la Cruz y Abreu¹⁹ sostienen que un enfoque de este tipo es particularmente útil en aquellas carreras en las que, como es el caso de la medicina, mucho de la enseñanza es tutorial. Proponen la necesidad de apartarse de la enseñanza únicamente del conocimiento explícito y pasar del ambiente puramente teórico al ambiente práctico en el que los procesos no son lineales, como ocurre en el mundo de la investigación científica, para concentrarse en el mundo real en el que los problemas son complejos y un efecto puede tener varias causas mientras que una causa puede tener varios efectos. Más adelante nos referiremos nuevamente a estos conceptos.

Santos Depine²⁰ está de acuerdo con Abreu y va más lejos al proponer un modelo basado en el enfoque de Nonaka para la actualización de los currícula de medicina y para la transferencia de conocimiento médico, que es el sitio donde mejor se puede utilizar esta metodología.

A nuestro juicio, el enfoque de construcción colectiva del conocimiento en un proceso como el propuesto por Nonaka y Takeushi no se adapta a la enseñanza de las ciencias en pregrado, pero sería muy útil en ambientes de posgrado en los que haya posibilidades de discusión interdisciplinaria, como los que se dan en las residencias clínicas donde ya se viene utilizando.

Mark Smith²¹ hace una excelente revisión de los procesos de aprendizaje. Dice que si se toma cualquier texto estándar de psicología, se define el aprendizaje como un cambio de comportamiento. Este concepto tiene muchas implicaciones para la enseñanza. Si el objeto de enseñanza es solamente transmisión de conocimiento explícito, el resultado no será un cambio comportamental. Pero si se trata de que el producto de la enseñanza sea un cambio en el comportamiento del estudiante, es importante introducir los conceptos que hemos venido discutiendo en relación con el conocimiento tácito. Smith nos presenta un ejemplo interesante: Una persona común y corriente no puede llevar a cabo un procedimiento quirúrgico. Por el otro lado, el cirujano o el doctor en biomedicina que sólo tiene conocimiento explícito de un procedimiento, posiblemente no podrá llevarlo a cabo. Se requiere el conocimiento tácito, el know-how para llevar a cabo un procedimiento exitoso. Volvemos al par: episteme y techne de los griegos.

¹⁹ De La Cruz G. Abreu LF "Tutoría en la Educación Superior: Transitando desde las Aulas hacia la Sociedad de Conocimiento". 2008. Rev Edu Superior. 37 (3); 107-124

²⁰ Depine S. "Gestión del Conocimiento en las Facultades de Medicina. Estrategia de Control de las Enfermedades Crónicas no Transmisibles." 2014. Rev Colomb Nefrol. 1;25-38

²¹ Smith, M. K. (2003). 'Learning theory', *the encyclopedia of informal education*. <http://infed.org/mobi/learning-theory-models-product-and-process/>. Retrieved: June 2, 2014.

5. Transdisciplinaridad y complejidad.

Con la individualización de las disciplinas que hace Comte en el Siglo XIX se pierde el sentido de la filosofía natural que pretendía comprender la totalidad de la naturaleza, para devenir en cuerpos de conocimiento autocontenidos en una sola disciplina. Quizás ya lo único que comparten es el método experimental, pero sus cimientos se apartan uno de los otros. Como resultado tenemos nuestras carreras en ciencias que son compartimentos estancos que no se hablan unos con otros y mantienen su individualidad y proclaman una epistemología propia. Sin embargo, el mundo real es complejo y aproximarse a entenderlo exige inter, pero más importante aún, transdisciplinariedad. Si, además existe un compromiso social de usar este conocimiento para el beneficio de la sociedad, debe haber integración no sólo de disciplinas, sino también de profesiones.

John Henry Newman, en su discurso V²²: El conocimiento por el conocimiento mismo, dice “all Knowledge is a whole and the separate Sciences parts of one” concepto que amplía diciendo: “He dicho que todas las ramas del conocimiento están conectadas entre sí, porque el sujeto del conocimiento se encuentra íntimamente unido en sí mismo, toda vez que son los actos y el trabajo del Creador. Es así que las ciencias, en las cuales podemos decir que se ha volcado nuestro conocimiento, han multiplicado relaciones de unas sobre las otras, y una simpatía interna, y admiten, o mejor, demandan comparaciones y ajustes. Ellas se completan, se corrigen y se balancean entre sí. Esta consideración, si es bien fundamentada, se debe tener en cuenta, no sólo en lo que respecta a encontrar la verdad, que es su fin común, sino en lo que respecta a la influencia que ejercen sobre aquellos cuya educación consiste en estudiarlas. Lo he dicho antes; que dar prominencia indebida a una de ellas es injusto para otra; ignorar o reemplazar unas es desviar las otras de su real objetivo. Es trastornar los límites entre ciencia y ciencia, estorbar su acción, destruir la armonía que las une. Tal proceder tendrá un efecto similar cuando se introduce en una casa de educación. No hay ciencia que cuente una historia diferente, cuando se la ve como porción de un todo, en vez de lo que parecería sugerir si se toma por sí sola sin la salvaguardia de las otras.”

Michael Gibbons²³ ha propuesto que la producción de conocimiento se puede dividir en dos modos, que a falta de una mejor manera de clasificación, ha llamado Modo Uno y Modo Dos. “En el Modo Uno se plantean y se solucionan los problemas en un

²² Newman Reader — Works of John Henry Newman © 2007 The National Institute for Newman Studies. Discourse V. Knowledge its own end.

²³ Gibbons, Michael; Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman, Peter Scott, & Martin Trow (1994). The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies. London:

contexto gobernado por los intereses, en buena parte académicos, de una comunidad específica. En contraste, el conocimiento del Modo Dos se lleva a cabo en un contexto de aplicación. El Modo Uno es disciplinar, mientras que el Modo Dos es transdisciplinar. El Modo Uno se caracteriza por la homogeneidad, el Modo Dos por la heterogeneidad, organizativamente el Modo Uno es jerárquico y tiende a preservar su forma, mientras que el Modo Dos es más heterárquico y transitorio; cada uno de ellos emplea un tipo diferente de control de calidad. En comparación con el Modo Uno, el Modo Dos es más socialmente responsable y reflexivo, incluye a un conjunto de practicantes cada vez más amplio, temporal y heterogéneo, que colaboran sobre un problema definido dentro de un contexto específico y localizado”.

Continúa Gibbons: “El termino Modo Uno se refiere a una forma de producción de conocimiento, a un complejo de ideas, métodos, valores y normas que ha crecido hasta controlar la difusión del modelo Newtoniano a más y más ámbitos de investigación para asegurar su conformidad con aquello que se considera como una práctica científica sana. El Modo Uno persigue sintetizar en una sola frase las normas cognitivas y sociales que deben seguirse en la producción, legitimización y difusión del conocimiento de este tipo. Para muchos el Modo Uno es idéntico con lo que se quiere dar a entender por ciencia, sus normas cognitivas y sociales determinan qué se considera como problema significativo, a quién se le debe permitir practicar la ciencia y qué constituye la buena ciencia. Las formas de práctica que se adhieren a estas reglas son, por definición, científicas mientras que aquellas otras que las violan no lo son”.

La ciencia obtenida a través del Modo Uno es auto-contenida y busca fundamentalmente el manejar una sola variable manteniendo todas las demás variables estáticas y de esta manera es una ciencia lineal en la cual un efecto se supone que tiene una causa y una causa única. Sin embargo el universo no es así y en la realidad un efecto determinado puede tener muchas causas y una causa determinada puede tener mucho efectos; esto es lo que Gibbons ha llamado modo Dos en el cual la ciencia definitivamente no se puede considerar como un proceso lineal, como un proceso separado de otras condiciones que están afectando el proceso determinado que se está estudiando.

Podemos decir que en el caso de la enseñanza de la ciencia claramente hemos utilizado y seguimos utilizando el Modo Uno de producción del conocimiento apartándonos bastante del Modo Dos, la forma interdisciplinaria y, más allá de la interdisciplinarietà, transdisciplinar. Hay que hacer énfasis que cuando en términos generales el Modo Uno de aproximarse al conocimiento se confunde con el método científico tenemos un paradigma en el que estamos inmersos y en el cual los científicos de alguna manera profesamos. Si el conocimiento que se produce en la universidad es un conocimiento disciplinar, un conocimiento en el que se maneja la investigación como un proceso lineal, es imposible que nosotros podamos pensar que los profesores que, a su vez, son científicos, puedan enseñar la ciencia de otra manera. El paradigma, sin embargo, es un paradigma que es reconocido por toda la comunidad científica. Hay que darse cuenta que la presentación de proyectos a las agencias

financiadoras tanto nacionales, COLCIENCIAS, como las internacionales, entre las cuales pueden estar las National Science Foundations y el National Institute of Health nos vamos a encontrar con que una propuesta que no maneje el paradigma de producción de conocimiento en el Modo Uno no tiene manera de que sea aceptado por los pares. De manera, pues, que estamos ante una situación en la cual, independientemente de que se pueda reconocer la forma como la ciencia de alguna manera se produce en un contexto social determinado, de acuerdo y como consecuencia de una cultura determinada y que tiene unos efectos tanto a nivel social como a nivel económico, este conocimiento no pasa de ser algo que se traduzca en unas cuantas frases en el formulario en donde se pone justificación. Justificación que en el caso de las ciencias básicas no tiene una realidad específica por cuanto su aplicabilidad inmediata es poca, pero que tiene una inmensa justificación desde el punto de vista del conocimiento que se va agregando.

De todas maneras, y entendiendo el problema que representa el transmitir en clase a los alumnos aquello que estamos obligados a hacer por la tradición y por las agencias financiadoras, de todas maneras hay que buscar la forma como el profesor contextualice la enseñanza de su disciplina, no en el sentido de su aplicabilidad, como alguna vez se pretende, sino en el contexto de la ciencia en general. En esos términos, la ciencia de alguna manera tiene que enseñarse teniendo en cuenta la interdisciplinariedad a pesar de que se maneje a profundidad y como eje central la parte disciplinar que es fundamental. Es aquí, como en muchas otras partes, donde la ciencia básica se encuentra con la complejidad como lo propone Morin o el mismo Maturana al observar los fenómenos de la vida.

6. La enseñanza y el aprendizaje en el contexto de la universidad colombiana.

Hasta acá hemos venido haciendo una discusión somera y superficial de la naturaleza del conocimiento, de su construcción y de las formas y sistemas de aprendizaje a nivel teórico aunque haciendo referencia en algunos casos a la enseñanza de la ciencia en nuestras universidades. En las siguientes páginas trataremos de hacer una presentación más centrada en nuestra propia experiencia. Prácticamente todo el texto siguiente apareció inicialmente como el documento “Enseñanza de la Ciencia” que fue presentado a la Asamblea de decanos de ACOFACIEN en Septiembre de 2013. Se han hecho pequeñas variaciones resultantes de las discusiones.

En la universidad, la ciencia se enseña a jóvenes entre los dieciséis y los veinte años. Son adultos jóvenes con cultura de enseñanza y aprendizaje diferente y diversa según el medio social de donde provienen, con una cultura digital frecuentemente mejor que la de los profesores, con un enfoque mediático de la percepción de la realidad, con ausencia de la cultura del texto escrito, con conocimiento insuficiente de la lengua franca que hoy es el inglés, con poca disciplina y poder de concentración, con cultura del facilismo, con aprendizaje con fecha de vencimiento, con entrenamiento para contestar exámenes tipo test y finalmente con casi nula comprensión de lectura.

La forma y el contexto en el que se da el bachillerato permiten que los jóvenes se puedan graduar a los dieciséis años y puedan entrar a la universidad en esta edad en la que todavía no están consolidados sus conocimientos ni sus capacidades de aprendizaje. Además, vienen de un entorno educativo que es claramente diferente en las ciudades y en el campo.

El modelo educativo del ámbito preuniversitario

El modelo educativo generalmente es de tipo memorístico y centrado en el profesor. Claro que hay notables excepciones en profesores de básica y media que han hecho extraordinarios avances en la enseñanza de la ciencia, basados fundamentalmente en su propia intuición, su entusiasmo por la ciencia y su propia manera de abocar el conocimiento. Desafortunadamente, esto no es lo más frecuente; por el contrario, los profesores generalmente se limitan a presentar la ciencia como lo hacen los libros de texto, es decir, como una verdad construida en los países del Norte y como una verdad terminada y no como un proceso en constante evolución en el que los estudiantes colombianos pueden llegar a hacer contribuciones específicas para avanzar sus alcances y el entendimiento de los fenómenos naturales.

A lo anterior se suma que desde el colegio, el estudiante tiene acceso a la televisión, a redes sociales como YouTube y Facebook y a buscadores como Google donde fácilmente encuentra información no siempre relevante o verídica acerca de fenómenos científicos, pero siempre en entornos, circunstancias e idioma diferentes a los que se dan en nuestro medio; los excelentes videos de Discovery Channel o de YouTube no tienen contraparte en videos que tengan que ver con la realidad colombiana, con nuestros páramos, con nuestras diferentes plataformas térmicas, con nuestra vegetación o nuestra fauna, ni nuestros profesores publican videos en Youtube en los que traten de explicar gráficamente un concepto. Todo esto hace que el estudiante de alguna manera entienda que la ciencia no es parte de la cultura colombiana, que él no puede hacer parte de esa comunidad científica y que no puede llegar a contribuir al conocimiento de la realidad colombiana o la realidad global.

Las universidades están entrando en la moda de utilizar el aula virtual usando programas tales como Moodle o Blackboard. Este es un esfuerzo de verdad gigantesco y bien intencionado, pero que frecuentemente adolce de acompañamiento por expertos para que el aula virtual no se convierta simplemente en un repositorio de las presentaciones en Power Point de las clases presenciales de los profesores. Las generalizaciones tienen el defecto de no hacer justicia a los múltiples profesores que están haciendo excelentes videos o animaciones para ilustrar los conocimientos que ellos mismos generan. Hay varias páginas web de profesores que no reciben suficiente atención, principalmente porque nuestros profesores son modestos y porque quizás estos esfuerzos no reciben el reconocimiento en puntos y salario que realmente merecen, por lo que las mismas universidades ignoran lo que sus profesores producen. Un proyecto que se podría emprender sería el de rescatar estas contribuciones y hacerlas asequibles a nuestros jóvenes de todas las universidades.

Evidentemente, hay excepciones importantísimas al enajenamiento científico de nuestros estudiantes. Entre otras, el inventario que hicieron los profesores de las escuelas de Villa de Leyva acerca de la diversidad de su territorio, coordinados por el instituto von Humboldt, dio lugar a un mapa extraordinariamente detallado de la biodiversidad de uno de nuestros municipios, así sea restringida tan sólo a ese punto particular de nuestra geografía.

Pero si bien el sistema educativo de básica y media se reproduce en los primeros semestres de la universidad, hay una diferencia fundamental: el estudiante de básica y media está acostumbrado a asistir a clases de acuerdo con un horario determinado previamente y con franjas horarias que se suceden una a otra sin posibilidad de cambio. La actividad académica es continua y cambiante, que comienza y termina en un momento determinado del día y el resto del tiempo el estudiante lo tiene libre para hacer tareas o para jugar o para reunirse con sus amigos o, simplemente, para manejar el tiempo libre de acuerdo con sus inclinaciones. Por el contrario, al llegar a la universidad se encuentra con un horario en el que hay espacios notables entre clase y clase, puede ocurrir que no haya clases en un día determinado, o que tenga que asistir a actividades grupales diferentes a clases tales como seminarios, talleres o salidas de campo. Este cambio representa un choque cultural importante que debe ser reconocido para que el estudiante pueda adaptarse al cambio con el menor trauma posible, buscando que la libertad horaria redunde en una mejor experiencia educativa en lugar de una manera de dispersarse en actividades que no contribuyan a su formación.

Súmese a lo anterior el hecho de que el estudiante ya no recibe atención individualizada, como en el colegio y que los profesores parecen no interesarse en él como estudiante, en sus intereses, en sus dificultades, sino que simplemente esperan que rindan en su materia por su cuenta y que aprendan conceptos y habilidades de manera independiente.

Lo que debemos reconocer es que la manera como se transmite el conocimiento explícito ha cambiado y que muchos profesores de media y universitaria no se han dado cuenta de los cambios. Los estudiantes que hoy llegan a la universidad vienen con una cultura digital frecuentemente mejor que la de sus profesores y tienen una visión completamente diferente de la educación y del aprendizaje. Los estudiantes son capaces de hacer lo que podríamos llamar multitareas: por un lado escuchan música, por otro lado tienen la televisión prendida y por el otro lado están trabajando en su computador y al mismo tiempo están leyendo un libro. Aparentemente no tienen capacidad de concentración, por lo menos desde la visión de los adultos cuya formación se hacía en el silencio de la biblioteca y cuya capacidad de concentración es alterada por ruidos y distracciones externas.

El enfoque mediático que manejan los estudiantes choca muchas veces con la situación del contexto educativo universitario en el que se encuentran. Para el profesor la obtención de información se basa fundamentalmente en textos escritos, en libros de texto con una codificación perfectamente clara dentro de la disciplina y con

un lenguaje que podríamos llamar lenguaje hermético, o sea que solamente entienden claramente los que cultivan una disciplina determinada. El estudiante puede comprar esos libros, generalmente costosos, o estudiarlos en la biblioteca. Pero, por el otro lado, el estudiante tiene acceso a canales de televisión en los que esos mismos conceptos que se pueden leer en los libros con ilustraciones planas se pueden ver en una forma animada como es el caso de los canales como Nat-Geo, o Discovery o en la inmensa variedad de videos que se encuentran en Youtube. El leer el texto escrito, particularmente el de los libros, resulta una tarea dispendiosa que no es agradable para el estudiante; no es mucho el cambio de los años preuniversitarios en los que la diversión iba por un lado y el estudio por otro; la enseñanza lúdica se podía obtener, pero por fuera del sistema de enseñanza, denso, aburrido y terriblemente dispendioso.

Pero además de esto tenemos que el estudiante que llega a la universidad es un estudiante que no tiene un conocimiento adecuado de lo que hoy es la lingua franca. Si bien en la edad media todo el mundo escribía en un idioma que se pudiera entender en cualquier nación, es decir en latín, actualmente esa misma lingua franca es el inglés. Por consiguiente, el estudiante debería tener un conocimiento por lo menos del inglés escrito y ciertamente del inglés científico. Esto es algo que tienen los egresados de los colegios bilingües y es algo que todos deberían tener como parte de su entrenamiento porque está normativamente establecido por el ministerio. Pero se cree que si se dicta una norma, esta norma se cumple. Pero, ¿Cómo es posible que se cumpla cuando muchos de los mismos profesores universitarios no tienen un conocimiento del inglés, ni pueden dar clases en inglés, ni lo entienden? ¿De qué sirve, entonces, la norma que se encuentra en casi todas las carreras de que el estudiante debe saber inglés por lo menos al nivel de B1, si los profesores no tienen ese nivel? Claro que podemos estar razonablemente seguros de que los profesores de facultades de ciencias que ofrecen maestrías y doctorados son, si no totalmente bilingües, sí capaces de entender artículos científicos. Sin embargo, es frecuente que no puedan escribir un artículo en inglés para una publicación extranjera. Esta es una dificultad que debe ser reconocida y abocada, como en algunas universidades que han estructurado cursos de inmersión de dos o tres meses en un país de habla inglesa para sus profesores. Esta solución es costosa, pero efectiva.

Pero si el estudiante viene con una dificultad muy grande para comprender el texto escrito en inglés, hay un problema todavía peor: los estudiantes tienen dificultades reales en comprender textos en castellano. Es verdaderamente angustioso el comprobar la incapacidad de los estudiantes que terminan universidad cuando se les hace exámenes de comprensión de lectura, como en el caso de las pruebas SaberPro. Desafortunadamente, problemas del mismo tipo se pueden encontrar a veces entre los mismos profesores. Por alguna razón, en Colombia se da por descontado el que el estudiante comprende el castellano y cuando se ha tratado de suplir la falta de capacidad de comprensión de la lectura, se trata de dar clases de gramática y de ortografía, que sí hacen falta, pero que no suplen que el estudiante sepa escribir y leer críticamente. En Estados Unidos, las universidades exigen por los menos dos y a veces tres semestres de inglés a todos los estudiantes de pregrado, y en todos los cursos,

aún en los de ciencias, se exigen los así llamados “term papers” o ensayos semestrales. De esta manera el estudiante va aprendiendo a leer y comprender lo leído y a escribir en forma que permita su adecuada comunicación. Esta es una de las competencias generales que se esperan de los estudiantes de ciencias, ingenierías y ciencias de la salud y que se exploran en las pruebas SaberPro. Vale la pena diseñar estrategias para que los estudiantes logren una verdadera competencia de comprensión de literatura científica y aprendan a escribir primero textos cortos y luego artículos científicos publicables.

El entrenamiento que han recibido los estudiantes en bachillerato y que de alguna forma se refuerza en la universidad es que se debe trabajar consignando en la memoria hechos, fechas, mecanismos, ecuaciones que sirven eventualmente para resolver problemas específicos que se presentan en un examen. Es dramático observar cómo los estudiantes que acaban de terminar, por ejemplo, cálculo diferencial y aprueban dicha asignatura, cuando entran a cálculo integral en el semestre siguiente han olvidado los conceptos o habilidades claves del cálculo diferencial; y lo mismo pasa cuando entran a ecuaciones diferenciales y prácticamente a cualquier tipo de asignaturas. Alguien dijo que nuestros estudiantes aprenden con fecha de vencimiento y la fecha de vencimiento es específicamente el día del examen; parecería que después del examen se borrara lo que tienen en su mente, inclusive su capacidad de resolver problemas con las herramientas que le fueron dadas en la asignatura y parecería que su cerebro retornó a una tabula rasa en la cual hay que reescribir ese conocimiento. Quizás eso tiene que ver un poco con la forma de hacer las evaluaciones que ha llegado en este momento a ser en general de tipo test. En muy pocas universidades se mantiene la costumbre de que el examen pueda ser de forma abierta y que los estudiantes tengan que escribir y justificar sus respuestas. Varios estudios parecen demostrar que hay conexión entre escribir y recordar lo escrito. Por eso, el sistema de estudiar y tratar de consignar a la memoria lo leído y releer para memorizar, no parecen dar el mismo resultado que lo que a primera vista es más dispendioso como escribir el concepto clave. Quizás si se adoptara el método de más preguntas abiertas en los exámenes, estos se podrían convertir en formas de aprendizaje a largo plazo y no en simples maneras de evaluar qué tanto recuerdan los estudiantes de lo que el profesor cree que es importante.

¿Cómo se enseña la ciencia en la universidad?

Al comienzo vimos los dos sistemas de enseñanza: auto y heteroestructurante, vimos la dificultad de utilizar el heteroestructurante a la enseñanza de la ciencia y la necesidad de encontrar nuestro propio sistema. En 1951 Carl Rogers propuso cinco principios acerca del aprendizaje centrado en el alumno. Fue enfático en decir que el único tipo de aprendizaje que influye significativamente en el comportamiento y educación es el que es descubierto por el mismo alumno. Señaló que cuando el estudiante encuentra que su experiencia va en contravía con lo que se le enseña, es fundamental que se abra a la oportunidad de tener nuevas interpretaciones de la realidad y que el mejor ambiente educativo es aquel en el que el estudiante se siente menos agredido, de manera que el profesor debe ser capaz de interactuar y aprender

del estudiante.²⁴ Nótese que las ideas de Rogers habían sido esbozadas anteriormente por psicólogos como Piaget y Vigotsky.

Los psicólogos nos han enseñado que para lograr este cambio tenemos que tener en cuenta una serie de factores. Una enseñanza centrada en el alumno implica que hay que buscar una enseñanza personalizada. Y al hacerlo, tenemos que reconocer que cada estudiante es diferente, que tiene capacidades e intereses propios y posiblemente diferentes de los de los demás y, principalmente que, aunque joven, no es un niño sino un adulto con su propia personalidad aún no terminada de formar y con un capital intelectual propio adquirido durante su paso por la escuela preuniversitaria que se puede explotar para mejorar su aprendizaje en la universidad. Sin embargo, es casi axiomático que por diferentes razones no es fácil tener una enseñanza personalizada de las ciencias. No obstante, es importante que, si bien es cierto que en la universidad colombiana no existen los mecanismos, los medios y, principalmente, el número de profesores de tiempo completo que podrían participar en la enseñanza personalizada de la ciencia, por lo menos se debe aceptar que este cambio sería un gran avance en el proceso de enseñar y aprender la ciencia. Se debe reconocer que en la universidad, lo mismo que en la educación preuniversitaria, el modelo de enseñanza aprendizaje implica que lo que se enseña es igual para todos, independientemente de los diferentes intereses de los alumnos. Se da por sentado que quienes se matriculan en las facultades de ciencias tienen, o por lo menos se puede esperar que tengan, un interés especial en las ciencias y en las matemáticas como un todo. Pero es posible que esto no sea realmente cierto y, de hecho, se ha argumentado que en el caso de las ciencias no existe deserción como tal sino que lo que ocurre es que hay estudiantes que entran a las carreras de ciencias como trampolín para entrar a facultades que son más tradicionales como medicina o ingenierías en donde hay una mayor competencia para ingreso. Es frecuente escuchar, aunque es importante el que se pueda validar, que muchos estudiantes entran a biología como una posibilidad de posteriormente pasar a medicina y de la misma manera los estudiantes entran a estudiar matemáticas o física para después trasladarse a ingeniería. Pero independientemente de esto, el punto es que el estudiante claramente al escoger una carrera determinada, está mostrando un interés particular y diferente al que pueden tener otros estudiantes.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta el hecho de que además de los intereses de los estudiantes hay lo que podríamos llamar capacidades diferentes en los estudiantes. Howard Gardner introdujo un concepto que se ha generalizado y es el de las inteligencias múltiples. Éste no es un concepto totalmente original de Gardner, porque ya había sido propuesto por otros psicólogos anteriormente, pero él le dio una estructura particular. A principios de la década de los años ochenta propuso que los individuos cuentan con siete tipos de inteligencia y a mediados de los años noventa sumó una más. Catalogó estas inteligencias en la lingüística verbal, la lógica matemática, la del cuerpo y la cinestesia, la inteligencia espacial, la inteligencia

²⁴ Roger, C, (1951). *Client-centered therapy: Its current practice, implications and theory*. London: Constable

musical, la inteligencia interpersonal, la inteligencia intrapersonal y finalmente la inteligencia naturalista.

Una descripción de estos tipos de inteligencia se puede encontrar en los textos originales de Gardner²⁵ pero, fundamentalmente, lo que nos dicen es que cada individuo tiene características y capacidades diferentes en las diferentes actividades humanas; hay unos que tienen una capacidad lingüística verbal mejor que la de otros estudiantes; estas personas son capaces de convencer a los demás a través del discurso oral. Otros por el contrario, o diríamos, adicionalmente, tienen una capacidad matemática no solamente de cálculo sino que encuentran patrones matemáticos que se encuentran ocultos en la naturaleza. Otras personas se aproximan al mundo a través del movimiento corporal; son los atletas, los bailarines, los artesanos, los que trabajan en carpintería, en bordado, en trabajo en piedra etc. Otros están más interesados en la percepción y en la descripción del espacio; son aquellos que utilizan medios como la fotografía para comunicarse con los demás, los que trabajan en cine o en televisión, los artistas que se comunican con el mundo a través de dibujos, a través de trabajos como pinturas, etc. Y ciertamente están aquellos que tienen una capacidad musical, capacidad que se manifiesta, bien como artistas capaces de producir sonidos con los cuales se comunican con el mundo con sus canciones, son cantautores; bien los que son músicos profesionales o simplemente son personas capaces de entender el ritmo, de entender los inuendos de una cadencia. Otras personas tienen una inteligencia interpersonal, son aquellas personas capaces de hacer relaciones públicas, relaciones entre naciones, relaciones entre partidos, son quienes de alguna manera manejan también el aspecto político, el aspecto de movimiento de la gente, las personas que ponen a los grupos humanos a trabajar en conjunto por una idea en particular. Y están aquellos que son introvertidos, que se reconocen a sí mismos y que miran al mundo a través de su propio yo. No son autistas; realmente son personas que tienen una sensibilidad personal muy grande que de alguna manera a veces les es difícil compartir con los demás. Y finalmente, está la inteligencia naturalista, la que le permite comunicarse al individuo con el medio ambiente, el que entiende ese medio como un sistema, un oikos en donde la humanidad vive, que hay que preservar, un entorno que hay que estudiar, un medio ambiente que permite la vida a través de los alimentos que produce, del oxígeno que depara y que, ciertamente en su conjunto, es lo que llamamos ecología. Quien tiene esta inteligencia trata de entender el medio y de transmitir y compartir sus hallazgos, sus percepciones y sus conocimientos con otros.

Pero ningún individuo posee una sola de estas inteligencias. En efecto, no son únicas, no son absolutas, sino que se mezclan unas con otras; de alguna manera hacen intersecciones que permiten que algunas personas tengan una de ellas más desarrollada que las demás, pero que las otras sean igualmente desarrolladas aunque no en la misma proporción. ¿A qué nos lleva esto?, simplemente a proponer que de un estudiante que estudia ciencias podríamos esperar que tiene más desarrollada la

²⁵ Gardner, H., 2006. Multiple Intelligences: New Horizons in Theory and Practice. Basic Books, N.Y.

inteligencia matemática o la naturalista, pero que de todas formas debe ser capaz de relacionarse con los demás, así sea con su misma comunidad académica en esas relaciones interpersonales que se dan a través de la comunicación oral o escrita y que para ello también tiene una inteligencia interpersonal. Nótese que otra manera de mirar el mismo fenómeno es decir que los estudiantes tienen diferentes aptitudes que les permiten dominar más fácilmente algún aspecto de la actividad humana, sin que por ello se diga que no pueden llegar a dominar con mayor esfuerzo, eso sí, otras actividades. Quizás lo más importante de la contribución de Gardner es ponernos a pensar que esas inteligencias, o si se quiere aptitudes, se pueden reconocer y aprovechar para lograr el aprendizaje significativo basado en el estudiante.

Pero Howard Gardner no se contentó con su idea original de las inteligencias múltiples. En uno de sus últimos libros presenta las cinco inteligencias o capacidades que debería tener el ser humano para enfrentar el siglo XXI que son: mentalidad disciplinada, mentalidad sintetizadora, mentalidad creativa, mentalidad respetuosa y mentalidad ética.²⁶ No es necesario que miremos una por una estas propuestas pero si es importante que miremos cómo se pueden aplicar a la enseñanza de las ciencias a nuestros universitarios. Debemos hacer énfasis que esas cinco inteligencias para el futuro que nos propone Gardner son las cinco inteligencias que deben adornar al científico y obviamente al estudiante de ciencias. El estudiante de ciencias debe tener una mentalidad disciplinada. Es imposible que alguien pueda tener avances en la producción del conocimiento saltando de un área a otra, de una pregunta a otra; tiene que tener muy claro hacia dónde va y tener la disciplina necesaria para continuar trabajando en esa pregunta por años, si es necesario, y debe tener una mentalidad sintetizadora.

La mentalidad sintetizadora es absolutamente fundamental en el científico en el sentido en que debe aprender a tomar los diferentes datos no solamente de su investigación personal sino de la que se encuentra en la literatura, analizarlos, entenderlos y llegar a una síntesis que le permita continuar con su propia investigación. Pero se quedaría allí, si no fuera por la mentalidad creativa y una mentalidad creativa implica el que el estudiante logre llegar más lejos de lo que llegaron sus profesores e inclusive de lo que aparece en la literatura; tiene que pensar en algo nuevo; tiene que pensar en innovación. Pero innovación no es algo diferente a buscar nuevos caminos para llegar al mismo fin. No es algo aparte del proceso investigativo. La innovación no es algo que se pueda hacer independientemente del conocimiento previo. De ahí su nombre; innovación implica hacer algo nuevo, pero algo nuevo a partir de lo existente. Por eso los norteamericanos han desarrollado una frase que deberíamos tener en cuenta cuando hablamos de innovación: “Research is to make a better mousetrap” (“Investigación es hacer una mejor trampa de ratones”).

Pero debe tener también una mentalidad respetuosa que le permita al estudiante y al científico conocer sus limitaciones y entender las de los demás y respetar las ideas y

²⁶ Gardner, H. 2006. Five Minds for the Future. Harvard University Press. (Hay una traducción al castellano de la Editorial del Magisterio).

las propuestas del otro. El científico no debería ser una Prima Donna, al estilo de los grandes músicos o de los grandes jugadores de fútbol que pretenden ser el centro de atención de la prensa o de la comunidad académica en general. Por el contrario, es una persona que entiende y valora la contribución que otras personas han hecho al conocimiento en su área y que es una persona más que, como decía Newton, ve más lejos porque está parado sobre los hombros de gigantes; que respeta lo que en términos legales podríamos llamar propiedad intelectual lo que, a su vez, está lógicamente unido a la última mentalidad que es la mentalidad ética. En el área de la ciencia, la ética se practica a través de la comunicación veraz y verificable que describe y analiza los resultados que el estudiante y el profesor obtienen a través de la observación cuidadosa y sistemática de los fenómenos naturales que hacen a través de sus sentidos o de instrumentos que prolongan la capacidad de sus sentidos de ver, tocar, oír u oler, y las conclusiones y recomendaciones que proponen sin ánimo diferente alguno que el avance de la ciencia. Aquí se conjugan las inteligencias: la búsqueda del conocimiento en forma disciplinada, sintetizadora, creativa y respetuosa para comunicar lo que debe corresponder a la verdad, sin prestarse para mentiras ni para que sus resultados puedan ser utilizados en forma que no sea aquella que redunde en el mejor estar de los individuos tanto de su comunidad como de la comunidad global.

En la universidad se pretende que el estudiante aprenda por sí mismo, que adquiera los hábitos de lectura, de comprensión de lo que lee y de utilización de lo que él lee por sí mismo y sin ayuda externa. En algunos casos, los estudiantes tratan de estudiar en grupos, sin guía de sus maestros; en otros simplemente continúan trabajando solos, sin dar ni recibir ayuda de otros estudiantes.

Finalmente, haciendo un barrido muy rápido de la problemática de los estudiantes, encontramos adicionalmente, que particularmente los que provienen de regiones diferentes al sitio donde se localiza la universidad a la que logran entrar, deben adaptarse no solamente a la universidad sino también a la ciudad a donde van a vivir. Acostumbrados a vivir en sus casas, deben llegar a vivir con familiares o también en pensiones o casas donde comparten la habitación con otros estudiantes y en algunos casos no tienen medios suficientes para sostenerse durante el periodo de la universidad. Los estudiantes con menores recursos económicos deben hacer ingentes esfuerzos tanto personalmente como sus familias para poder simplemente sobrevivir en la universidad. Un estudio de Mani et al.²⁷ que ha sido ampliamente citado en los medios, muestra cómo las preocupaciones inherentes a conseguir recursos básicos para la simple supervivencia interfiere con la capacidad de tomar decisiones acertadas acerca de aspectos importantes en la vida de los individuos. Esto es algo que se ve en las universidades que admiten estudiantes de bajos recursos que muchas veces no tienen para la comida o el transporte y deben afrontar clase con un estómago vacío. Es cierto que no le compete directamente a la universidad proveer de becas de sostenimiento a los estudiantes, pero es una problemática presente que hay que tener

²⁷ Mani A, Mullainathan S, Shafir E, Zhao J. Poverty impedes cognitive function, *Science*, 2013: 341(Aug 30), 976-980

en cuenta cuando hablamos de la enseñanza de la ciencia a los estudiantes. No es lo mismo que un estudiante pueda concentrar toda su atención en la clase o en la tarea o en la construcción matemática que está haciendo cuando ha tenido la oportunidad de desayunar bien y sabe que va a recibir un almuerzo y posteriormente una cena, que si el estudiante llega apenas con algo de comer por desayuno, no sabe dónde puede encontrar su almuerzo y su comida al final del día. Las cifras del ESPADIES muestran que los créditos o subsidios del ICETEX por varios períodos académicos o ayudas que dan algunas universidades disminuyen la deserción, mostrando la importancia para la concentración y el estudio que tiene el tener aseguradas por lo menos las necesidades más apremiantes.

7. Andragogía: Enseñanza para el adulto.

Hasta el momento hemos analizado algunas de las características de los estudiantes de ciencias y del modelo de enseñanza aprendizaje tradicional en nuestras universidades. Pasemos ahora a proponer algunos mecanismos para afrontar las dificultades que hemos encontrado.

Pensamos que el modelo pedagógico imperante, basado en las teorías pedagógicas que se han aplicado a los niños de escuela preuniversitaria, tiene serias dificultades cuando se aplica a jóvenes universitarios que hemos insistido en que son adultos jóvenes. Hiemstra²⁸, en su artículo “Moving from Pedagogy to Andragogy”, hace un excelente resumen de lo que han sido los métodos de enseñanza desde la edad media hasta nuestros días. Sostiene Hiemstra que “hay muy poca duda de que la forma dominante de educación en Europa y en Estados Unidos es la pedagogía o lo que alguna gente prefiere llamar didáctica tradicional o enfoques dirigidos por el maestro. Una idea competitiva en términos de la instrucción a personas adultas y una que ha venido ganando fuerza en las últimas tres décadas se ha llamado andragogía”. Según Knowles el origen de la pedagogía proviene de las escuelas monásticas de Europa en la edad media y es un sistema instruccional que requería que los niños fueran obedientes, fieles y sirvientes eficientes de la iglesia. El termino pedagogía proviene del griego παιδός que es el genitivo de παῖς, niño y de ἄγω, conducir. Esto quiere decir, en últimas, que la pedagogía es la forma de conducción de los niños, evidentemente hacia un propósito determinado, en este caso la instrucción en las primeras letras o las operaciones matemáticas, etc. Y eventualmente llega hasta la enseñanza de la misma cultura y de la ciencia.

Un término relacionado con pedagogía es el de didáctica, que proviene también del griego διδακτικός, lo relacionado con la enseñanza y se refiere al método o formas de enseñar. Como lo señalamos más arriba, en los siglos XIX y XX, diferentes psicólogos europeos y norteamericanos trataron de entender el proceso cognitivo en estudiantes preuniversitarios, particularmente niños. En nuestro medio han trabajado el tema

²⁸ Hiemstra R. Moving from Pedagogy to Andragogy (Adapted and Updated from Hiemstra, R., & Sisco, B. (1990). Individualizing instruction. San Francisco: Jossey-Bass.) Pagina web de Roger Hiemstra <http://www-distance.syr.edu/distancenew.html>

varios grupos tales como el de la universidad del Valle que trata de entender la manera como el niño concibe y aprende el concepto de número y el concepto de suma y resta y la escuela de enseñanza de las matemáticas a niños liderada por Carlos Eduardo Vasco que ha hecho avances interesantes en este campo y ha introducido la idea del constructivismo en la enseñanza. Vasco sostiene que el constructivismo no es una teoría única, sino que hay tantos constructivismos como practicantes del método, apartándose de esta forma de quienes adhieren a teorías sin reflexión suficiente o entendimiento de las mismas. Sin embargo, han sido las teorías de los grandes pensadores y maestros extranjeros, las que han orientado las discusiones de nuestros profesores y de nuestros investigadores en el área de la educación en general, sin que con la excepción de grupos de enseñanza de las matemáticas o de la física, y siempre para estudiantes de primaria o básica, se hayan dedicado a la investigación de la didáctica de la ciencia.

Sin embargo, como argüíamos más arriba, los jóvenes que llegan a la universidad son adultos que han pasado ya esa etapa del niño y del adolescente objeto del estudio de los educadores. Es posiblemente Malcom Knowles quien en los años sesenta del siglo XX introduce el concepto de andragogía que también proviene del griego Άνδρος, hombre y el mismo άγω, que quiere decir conducir. Es decir, ahora se trata de buscar los mecanismos para conducir a los hombres fuera de la ignorancia o hacia una meta específica de conocimiento.

Según la International Encyclopedia of Adult Education²⁹ fue un maestro alemán de bachillerato, Alexander Kapp, quien en 1833 publicó un libro llamado Ideas Educativas de Platón en el que describe la necesidad de aprendizaje a lo largo de la vida y es aquí donde se introduce el término andragogía en relación con la educación que se debe dar a los adultos. En la década de 1920 los educadores de adultos de Alemania integrados por profesores de diversas disciplinas desarrollaron una nueva práctica en la educación adulta que se llamó andragógica y en la cual el término andragogía era un antónimo de demagogia o sea de conducción del pueblo, que quiere decir conducir al pueblo no siempre en una forma adecuada. Pero es Knowles quien construye el concepto moderno de Andragogía y la define como el arte y la ciencia de ayudar a los adultos a aprender. Se construye sobre dos atributos centrales: primero, una concepción de que los que aprenden tienen que ser auto-direccionados y autónomos y segundo, una concepción en la que el papel del profesor es el de facilitador del aprendizaje, más que una persona que presenta los contenidos. De esta manera se hace énfasis en la capacidad que tiene el aprendiz adulto de tomar el control de su propio aprendizaje. Es precisamente este concepto el que actualmente se quiere imponer en nuestras universidades, la idea de pasar de la enseñanza centrada en el profesor a la enseñanza centrada en el alumno, pero aquí es donde se encuentran los problemas. Si para que se pueda tener éxito en el modelo andragógico es necesario comenzar por reconocer los verdaderos intereses de nuestros estudiantes y apelar a la red asimétrica de sus inteligencias y aptitudes ¿cómo podemos aproximarnos a reconocerlas y permitir que el estudiante las utilice para su

²⁹ Reischmann J Andragogy en English LM, ed. International Encyclopedia of Adult Education, pp.58-63

propio proceso de aprendizaje? ¿Cómo podemos permitir la diversidad dentro de la homogeneidad que requiere el producto del proceso que es el egresado? ¿Cómo podemos lograr una verdadera interdisciplinariedad en la enseñanza de las ciencias para que el estudiante vea más allá de los estrechos límites de su disciplina? ¿Cómo podemos introducir el concepto del pensamiento complejo de Edgar Morin que reconoce la tensión que representa la búsqueda de un saber no parcelado y el reconocimiento de lo inacabado e incompleto del conocimiento? En este sentido, Picardo reconoce que la Interdisciplinariedad supone la complementariedad y la conjunción de los conocimientos disciplinarios³⁰

En el caso del estudiante de ciencias, la situación no es simple. En efecto, las ciencias y las técnicas tienen unos conocimientos que deben ser aprehendidos y que son un constructo social de muchas generaciones en vez del constructo individual del propio estudiante. Este constructo social debe ser presentado como un conocimiento explícito que se pueda encontrar en los libros, que se puede encontrar en internet, en las bibliotecas, etc., pero que el profesor organiza en una manera coherente y sistemática de tal manera que el estudiante pueda aprovechar al máximo el corto tiempo que tiene para ver el contenido que aparece en cada asignatura.

Es en esta realidad en la que tenemos que situarnos para buscar la manera de hacer el cambio de paradigma educativo de la enseñanza centrada en el profesor a la enseñanza centrada en el estudiante desde una perspectiva andragógica. Puede haber diferentes maneras, pero podríamos comenzar por considerar ciertas condiciones que son necesarias. La primera es la de redefinir el papel del profesor en la universidad. El profesor tiene que cambiar su manera de pensar para aceptar que debe dejar de ser un “dictador” de clases para convertirse en un guía y un amigo del estudiante con quien va a compartir el propósito de adentrarse en la obtención del conocimiento, a quien debe enseñar, pero de quien también debe aprender. Como guía, el profesor tiene ciertos papeles que son necesarios. Debe aprender a usar las nuevas tecnologías y aprovecharse de ellas. Y es aquí donde cabe el aforismo de que si los computadores pueden reemplazar al profesor, entonces el profesor debe ser reemplazado. El papel principal es el de guiar al estudiante en la obtención del conocimiento verificable y adoptado por la comunidad. Sin dejar de usar google, debe mostrar las ventajas y desventajas de las enciclopedias digitales y el uso de las bases de datos científicas que le permiten llegar a revisiones de tema y a artículos originales. Para sus clases debe comenzar con la jerarquización del conocimiento. Tenemos que buscar la manera de que en esa actividad del profesor, encuentre aquellos conceptos que son absolutamente necesarios, esos conceptos que deben servir para toda la vida, y que una vez se identifiquen, puedan transmitirse de la mejor forma posible para que el estudiante los tome y los consigne no solamente a su memoria sino, casi podríamos decir a su sub-consiente, y que estén allí para siempre y sin fecha de vencimiento. Debemos también buscar que el estudiante pueda distinguir entre el conocimiento

³⁰ Picardo O., Al margen del siglo xxi: las universidades Latinoamericanas frente a las sociedades del aprendizaje, el conocimiento y la tecnología en Mota L, Cisneros L, eds. 2004. La Educación Superior en América Latina, LibrosEnRed pp. 19 y sig.

que es solamente basado en información y el conocimiento verificable que es el conocimiento que nosotros aceptamos como científico en el sentido de que es aceptado por la mayor parte de la comunidad académica en la que la disciplina se inscribe. Tenemos que diferenciar lo que es el conocimiento por el conocimiento en sí y el conocimiento útil, aquel que tiene una función social, o una función profesional y buscar la manera de no solamente tener el conocimiento teórico en sí sino aquel conocimiento que puede ser utilizado para el desarrollo del investigador. Tenemos que determinar las competencias que se deben transmitir en cada una de las asignaturas a partir de esa jerarquización del conocimiento y que quede perfectamente claro qué competencias son absolutamente necesarias, podríamos decir *sine qua non*, para que el estudiante pueda pasar al curso siguiente.

8. Procedimientos Probados a nivel Universitario

Ahora, para adquirir estas competencias en un sistema educacional centrado en el estudiante, existen diferentes mecanismos, dentro de los que podemos citar: el seminario alemán, la educación individual versus la educación en pares, los cursos masivos por internet, el proceso POGIL (Process Oriented Guided Inquiry Learning) y la incorporación de las diferentes tecnologías de la información al sistema de enseñanza y aprendizaje. Aunque cada una de ellas exige un tratado por aparte, es posible hacer una breve descripción de estas estrategias.

Seminario Alemán

En el caso del seminario alemán, seminario que se desarrolló en Göttingen fundamentalmente para la enseñanza de la filosofía, se trató de adaptarlo para la enseñanza de las ciencias biológicas con algún éxito en la Universidad Javeriana. El método consiste en que un profesor experto en el tema particular, hace una clase magistral en la que transmite un conocimiento perfectamente jerarquizado de acuerdo con unas competencias que se deben adquirir por parte del estudiante. Posteriormente, los estudiantes se dividen en grupos de alrededor de veinte, cada uno de ellos con un profesor diferente que orienta y dinamiza las discusiones. Uno de los estudiantes actúa como Relator tomando notas durante la clase magistral y luego, las notas del Relator se discuten en el grupo. De esta discusión salen unas conclusiones que resumen los conceptos aprehendidos por el grupo. Las conclusiones de cada grupo se socializaban con los relatores de los otros grupos para llegar a un conocimiento global construido por el conjunto de los estudiantes.

El modelo ASSURE para diseño instruccional

El modelo ASSURE es un proceso que ha sido modificado para ser usado por los maestros en situaciones de aula. Este modelo incorpora los eventos de instrucción que estableció Robert Gagné como efectivos para el uso de los medios en enseñanza que tienen muchas de las características que hemos venido analizando. Estos eventos son:

1. Analizar a los que van a aprender.
2. Definir los estándares y objetivos.
3. Seleccionar las estrategias, tecnología, medios y materiales
4. Utilizar la tecnología, medios y materiales
5. Requerir la participación de los estudiantes y

6. Evaluar y revisar.

El problema de conocer a los estudiantes es fundamental. En los Estados Unidos se ha llegado a exigir que los maestros hagan un examen previo de conocimientos para saber exactamente cómo le llega a sus estudiantes. Este proceso es definitivamente interesante y son pocos los esfuerzos que hemos conocido en Colombia para saber cuál es el nivel de conocimiento y de interés que tienen los estudiantes por un tema dado. Un esfuerzo en este sentido se ha llevado a cabo en la universidad Simón Bolívar en forma experimental: Los cursos de matemáticas y de ciencias naturales se ofrecen para casi todas las carreras lo que hace que programen simultáneamente varios cursos del mismo nivel. Al principio del semestre el conjunto de profesores establece qué conocimientos clave debe el estudiante traer como capital académico obtenido en el curso anterior o los conceptos que los primíparos deben traer del bachillerato. Luego el conjunto de profesores construye lo que llaman pruebas diagnósticas que permiten explorar hasta dónde el estudiante ha internalizado esos conceptos básicos. Al principio del semestre se administra la prueba diagnóstica y ésta se repite al final del semestre. Unos resultados preliminares obtenidos muestran que efectivamente los estudiantes llegan a la universidad con unos conceptos claves que no son adecuados para entender el curso de primer semestre. Esto permite conocer las fallas más importantes para ofrecerles ayuda académica. Las pruebas diagnósticas en la última semana muestran que las fallas iniciales se han superado en la mayoría de los estudiantes que, por el otro lado, han tomado los exámenes previos y finales de la asignatura. Pero esto que era de esperar en los primíparos, también se ha encontrado en los estudiantes que entran al siguiente curso de matemáticas. A pesar de que pasaron el curso anterior un número grande pierden la prueba diagnóstica de los conocimientos adquiridos en el curso que acaban de pasar. Y esto se repite con los estudiantes de tercero, cuarto y quinto semestre. ¡Parecería que estos estudiantes tienen la cultura del aprendizaje con fecha de vencimiento!

Una segunda condición de este tipo de metodología es que claramente se diseñen los objetivos del curso y lo que se espera que tengan los estudiantes después de haber pasado la respectiva asignatura. Esto es parecido a construir las asignaturas por competencias o en el caso de los colegios por logros. Una preocupación que ha salido de los talleres que ha hecho ACOFACIEN es que parece que la introducción del diseño curricular por competencias es una moda que se originó en los ECAES y luego se presenta en las pruebas SaberPro que se construyen por competencias. Nótese que esas pruebas son la evaluación de competencias que deben haber adquirido los estudiantes durante el proceso de su carrera. Pero en general, los profesores no tienen claridad acerca de lo que implica construir un curso por competencias. ACOFACIEN está ofreciendo en este momento a las universidades un taller para profesores con el objeto de entrenarlos en la construcción de asignaturas por competencias.

Una metodología similar ha sido propuesta para la enseñanza de la química por Richard Mock y John Farrell que ellos llaman Process oriented guided inquiry learning

o proceso POGIL³¹. El método requiere la construcción previa de una serie de actividades, en este caso de química, que tienen por un lado una información generalmente corta, luego lo que llaman “preguntas críticas para pensar” seguidas de ejercicios y de problemas. Las preguntas críticas para pensar son aquellas en las que realmente se basa este método y de alguna manera son parecidas al concept test del método de Eric Mazur que miraremos más abajo. Un ejemplo, para entender mejor el sistema puede ser el modelo del átomo de Berilio en donde primero se muestra como información un diagrama del átomo usando el modelo de capas electrónicas y el modelo de concepto de carga nuclear. Una pregunta crítica es: ¿Por qué es la carga eléctrica del Berilio +4? Otra pregunta crítica es: Muestre la forma como la carga nuclear del Berilio fue calculada. La sala de clase o el laboratorio POGIL consiste de un número cualquiera de estudiantes que trabajan en grupos pequeños con materiales especialmente diseñados en el modelo de la pregunta guiada. Estos materiales, como decíamos más arriba, le dan al estudiante datos o información seguida de esas preguntas diseñadas para guiarlos a través de la formulación de sus propias conclusiones válidas. Como se puede observar, el método es esencialmente una recapitulación del método científico. El instructor actúa como facilitador, observando y periódicamente dirigiéndose a los individuos o a todo el salón según sus necesidades. El método POGIL se basa en información documentada que indica que la enseñanza a través de la simple presentación de hechos en una clase magistral no es útil para la mayor parte de los estudiantes. Los resultados sugieren que los estudiantes que son parte de una comunidad interactiva tienen una mayor posibilidad de ser exitosos en aprehender el conocimiento y dejan claramente ver que fundamentalmente el conocimiento es algo personal que se construye personalmente a través del conocimiento y discusión de los conceptos. A los estudiantes les gusta más y más este modelo porque desarrollan un sentimiento de propiedad sobre el material que se les da lo que les permite construir su propio modelo mental de los fenómenos naturales.

David Hanson y Troy Wolfskill, profesores de la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, presentan lo que ellos llaman Talleres por proceso: un nuevo modelo de instrucción para estudiantes de química.³² Los profesores sostienen que los estudiantes de química que van a hacer sus pasantías en la industria se encuentran con que en la universidad se les enseñó una teoría y se les dijo siempre lo que tenían que hacer. Generalmente trabajaban en forma individual y tenían que responder en los exámenes en forma individual por su conocimiento. Pero en la industria tenían que trabajar como parte de un equipo. El equipo era el responsable colectivo del éxito o fracaso de cualquier proceso. Es a partir de estos hallazgos como establecen el taller de procesos que se define como un entorno de aula donde los estudiantes están activamente empeñados en aprender una disciplina y desarrollar competencias esenciales trabajando en grupos automanejados en actividades que involucran conocimiento guiado, procesamiento crítico y solución de problemas e incluyen

³¹ Moog RS, Farrell JJ. Chemistry: A guided Inquiry. John Wiley & Sons. Third Edition

³² Hanson D, Wolfskill. T Process Workshops – A New Model for Instruction. J.Chem.Ed. 2000: 77, 120-130.

reflexiones acerca del aprendizaje y evaluación de su desarrollo. El término proceso se usa porque es el foco en el desarrollo de habilidades en situaciones de aprendizaje específicos y el término taller se usa porque a los estudiantes se les da una tarea para que como agentes activos la ejecuten y completen en el salón.

En el taller de procesos los estudiantes trabajan en grupos para adquirir la información y desarrollar comprensión y entendimiento a través del descubrimiento guiado. Ellos llevan a cabo tareas y examinan modelos o ejemplos que proveen toda la información esencial para la lección en respuesta a preguntas de pensamiento crítico que ellos llaman preguntas claves. Las preguntas claves hacen que los estudiantes procesen la información, verbalicen y compartan sus percepciones y comprensiones unos con los otros y hagan inferencias, esto es, construyan el conocimiento. Una vez construido, los estudiantes aplican este conocimiento para resolver ejercicios y problemas simples que requieren pensamiento de orden mayor que involucra análisis, síntesis, transferencia, metodologías expertas e integración con conceptos previamente aprendidos. Los grupos reportan sus resultados a la clase y evalúan que tan bien lo hicieron y cómo podrían mejorar desarrollando estrategias para mejorar sus habilidades. Reflexionan acerca de lo que han aprendido y al final escriben un reporte escrito. Cada estudiante se va del taller con un quiz para responder en casa que se produce con un método desarrollado por computador. Los quices evalúan y refuerzan lo que se aprendió durante el taller y promueven la accountability o responsabilidad individual que es un concepto clave en la adquisición de nuevo conocimiento.³³ Nótese que éste es un concepto similar al método CESA que discutimos más arriba.

Método de aprendizaje por pares

El profesor Eric Mazur³⁴, físico de la universidad de Harvard, desarrolló un método para enseñar los cursos introductorios de física a estudiantes de otras disciplinas. El método se llama instrucción por pares y ya lleva varios años que muestran una forma muy interesante de mejorar el aprendizaje de los estudiantes. De acuerdo con el profesor Mazur, la instrucción por pares logra captar el interés de los estudiantes durante la clase a través de actividades que requieren que cada estudiante aplique conceptos fundamentales que se le están presentando y luego que explique esos conceptos a sus compañeros. Se diferencia de la práctica común de hacer preguntas durante el periodo de la clase que ordinariamente solo llama la atención a unos pocos estudiantes altamente motivados. Este sistema requiere tener una serie de preguntas estructuradas que se han llamado conceptest, que tratan de hacer una pregunta específica que ilustra un concepto fundamental. Una clase en el modelo de instrucción por pares se divide en una serie de presentaciones cortas, cada una enfocada a un tópico central, que es seguido por una pregunta conceptual, es decir, el conceptest que trata de buscar si el estudiante ha entendido las ideas que se le han presentado. A los estudiantes se le dan uno o dos minutos para formular respuestas específicas y darle esas respuestas al instructor. Los estudiantes entonces discuten esas respuestas con

³³ Hanson D, Wolfskill. LUCID: A New Model for Computer-assisted Learning. J.Chem.Ed. 2001: 78. 1417-1424

³⁴ Crouch CR, Mazur E. Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. Am.J.Phys. 2001:69,970-977

otros que se encuentran sentados a su alrededor y el instructor le pide a los estudiantes que traten de convencerse unos a otros de la verosimilitud de sus propias respuestas, explicando las razones que subyacen su propia respuesta. Durante la discusión, que generalmente dura entre dos y cuatro minutos, el instructor se mueve alrededor del salón oyendo a los estudiantes y finalmente el instructor da fin a la discusión y les pregunta a los estudiantes por sus respuestas que podrían inclusive haber cambiado a través de la discusión. Explica entonces la respuesta y la clase se mueve al siguiente tópico. En diferentes universidades se ha adaptado este sistema y en el caso de la Universidad del Norte se ha hecho una práctica bastante interesante utilizando los clickers, que son unos instrumentos de tecnología informática que permiten que en vez de que el profesor le pregunte a cada grupo de estudiantes por la respuesta, una vez hecha la pregunta los estudiantes oprimen el botón correspondiente a lo que estiman que es la respuesta correcta y el computador calcula y proyecta sobre la pantalla el porcentaje de estudiantes que han oprimido los diferentes botones de 1 a 4 y el profesor señala la respuesta correcta. La proyección del número de estudiantes que aciertan se incrementa después de la discusión del grupo. Este método utilizando clickers ciertamente requiere una inversión bastante alta y se ha venido utilizando en la Universidad del Norte, pero en la Universidad del Rosario han logrado lo mismo simplemente utilizando tarjetas de diferentes colores.

EPILOGO

Estudiantes y profesores tenemos un conocimiento que tiene dos caras complementarias: el tácito y el explícito. Su reconocimiento ha permitido proponer teorías de adquisición y construcción de conocimiento individual y colectivo que aplican tanto a empresas como a la enseñanza universitaria. Un aspecto muy importante es reconocer que los estudiantes universitarios son adultos jóvenes, con características definidas y que, por consiguiente, es necesario utilizar un enfoque andragógico cuando tratamos de enseñar ciencia y matemáticas en la Universidad. Es importante que los profesores conozcan a sus estudiantes y mediante trabajo conjunto, ojalá privilegiando el proceso de pares, permitan compartir el conocimiento tácito, convertirlo en explícito y finalmente internalizarlo y hacerlo parte de la misma personalidad o talante del profesional egresado. Hay sistemas que han sido comprobados y documentados en otros países para lograrlo. Hay también procesos exitosos en Colombia que deben ser publicados.

ACOFACIEN
Reunión de Directores de Carreras de Ciencias
Universidad Konrad Lorentz
Bogotá, Junio de 2014