

# Cómo promover el desarrollo de conocimiento inteligente en la educación de las ciencias con formas de aprendizaje activamente cognitivas

Por: *Ralph Schumacher*

(ralph.schumacher@ifv.gess.ethz.ch)

En las dos últimas décadas, la investigación psicológica en el campo del aprendizaje y la enseñanza ha establecido diferentes tipos de formación y formas de aprender, que han sido probadas como medios efectivos para promocionar el desarrollo del conocimiento inteligente. Estas formas de capacitación y aprendizaje se han caracterizado como activamente cognitivas ya que estimulan a los estudiantes a trabajar activamente en la estructura de su conocimiento, es decir, a reorganizar su conocimiento conceptual. Sin embargo, existe aún una brecha entre, por una parte, los resultados de la investigación en la enseñanza-aprendizaje, y por otra, la implementación concreta de esos resultados en los temas de enseñanza para los diferentes grados (Newcombe et al., 2009). Para llenar esta brecha, el Centro de Aprendizaje MINT en el Instituto Suizo Federal de Tecnología se ha propuesto optimizar la calidad de la enseñanza de las ciencias integrando las siguientes formas activamente cognitivas en la instrucción y el aprendizaje de los temas educativos:

## 1) Introducir nuevos temas a través de fenómenos “inexplicables”

El desarrollo y reestructuración del conocimiento comienza con la percepción del alumno de que hay un problema que no puede ser resuelto por los conocimientos y teorías disponibles para él (Chinn & Brewer, 1993). Por lo tanto, a fin de hacer participar a los estudiantes en actividades de construcción de conocimiento, es necesario confrontarlos con fenómenos que no pueden explicar, y a través de los cuales les sean revelados los límites de sus propios conceptos y teorías. Es por esta razón que las unidades del aprendizaje de ciencias activamente cognitivas desarrolladas en el MINT son presentadas a través de fenómenos que resultan interesan-



tes a los estudiantes, pero que no pueden ser explicados por ellos, revelándoles así los límites de su conocimiento.

## 2) Inventar con casos contrastados

¿Cómo pueden los estudiantes estar mejor preparados para aprender? Estudios recientes proporcionan evidencia de que se puede promover el aprendizaje enseñándoles a los estudiantes a desarrollar algunos conceptos por sí mismos antes de presentarles las teorías científicas (Schwartz et al., 2011). En esta forma de aprendizaje se les presenta a los estudiantes algunos casos contrastados, como por ejemplo el caso de los gráficos lineales con diferentes pendientes, guiados con instrucciones específicas para descubrir una característica común abstracta para inventar, por ejemplo, una sola tabla para describir la pendiente de esos gráficos li-

neales. Luego de concluir la tarea se les presenta la explicación científica. Con este método de enseñanza se les está llevando a pensar a través de un problema en particular, y están por lo tanto mejor preparados para entender las ventajas de las soluciones científicas, a diferencia de los estudiantes que solo reciben la información sobre los conceptos y las teorías científicas desde un comienzo. Por esta razón, la enseñanza de las unidades en el MINT también contienen instrucciones para desarrollar importantes conceptos científicos tales como la diferencia entre los tres tipos de energía mecánica, la diferencia entre temperatura y energía interna, o el concepto matemático de la pendiente de los gráficos lineales cuando inventan con casos contrastados.

## 3) Incentivar las autoexplicaciones

Las explicaciones hechas por sí mismo y dirigidas hacia uno mismo con el objeto de esclarecer y repensar los conceptos y teorías se llaman “autoexplicaciones”. Muchos estudios experimentales muestran que estimular las propias explicaciones mediante preguntas específicas es una forma efectiva de ampliar la comprensión de los estudiantes (Berthold et al., 2008; Chi et al., 1994; Schworm & Renkl, 2007; Siegler, 2002). Cuando se promueven las autoexplicaciones, se les enseña a los estudiantes a deliberar acerca de los puntos centrales del contenido de la materia. Por ejemplo, se les puede animar a elaborar cómo explicarían cierto concepto o teoría a otra persona que no tiene el conocimiento específico que ellos tienen. Es más, las autoexplicaciones pueden ser también aplicadas para hacer uso productivo de los conceptos erróneos de los estudiantes, al llevarlos a describir cómo explicarían cierto tema a una persona que tiene ese falso conocimiento. Además de mejorar el conocimiento de los estudiantes, motivarlos

recurrentemente a hacer autoexplicaciones también tiene la función de ejercitar su capacidad de preguntarse a sí mismos de manera habitual sobre ese tipo de explicaciones. Así, al establecer una rutina así, el ejercicio también promueve la habilidad de llevar a cabo un aprendizaje autorregulado. Por estas razones, las indicaciones específicas para hacer las autoexplicaciones son una parte esencial de las unidades de enseñanza activamente cognitivas del MINT.

#### **4) Modelo de confrontación holística mental**

Aunque estimular las autoexplicaciones es una forma muy efectiva de promover cambios conceptuales, bajo algunas circunstancias un diferente tipo de enseñanza es incluso más eficaz. Particularmente, en el caso de entender modelos complejos, cuando los estudiantes tienen que cambiar sus ideas acerca de las relaciones entre las características de los modelos, la confrontación holística de su propio modelo mental defectuoso con un modelo experimentado ha probado ser más efectivo aún que las autoexplicaciones (Gadgil et al. 2012). En este tipo de enseñanza se les muestra a los estudiantes cuál es el modelo defectuoso de un profano y cuál el modelo correcto de un experto. Luego se les instruye para que describan las diferencias más importantes entre ambos modelos. De esta forma, los conceptos erróneos pueden ser confrontados. En las unidades de aprendizaje del MINT, este tipo de instrucción es utilizado, por ejemplo, para confrontar un modelo con fallas de una batería con el modelo experto, a fin de reemplazar los conocimientos errados sobre la causa del flujo de los electrones en las baterías.

#### **5) Preguntas de metacognición**

El aprendizaje exitoso requiere una valoración realista del conocimiento del aprendiz, así como de su verdadero progreso. Por lo tanto, a fin de promover el aprendizaje de los estudiantes, resulta útil incentivarlos a reflexionar sobre el estado de conocimiento y su progreso en el aprendizaje. Las preguntas metacognitivas tienen exactamente la función de estimular este tipo de reflexión. Hay extensa evidencia sobre la efectividad de las preguntas metacognitivas en relación al aprendizaje y la comprensión de los estudiantes de diferentes edades y niveles

(Berthold, 2007; Koch, 2001; Mevarech & Fridkin, 2006; Mevarech & Kramarski, 1997, 2003; Zohar & Peled, 2008). Por otra parte, el entrenamiento repetitivo de preguntas metacognitivas puede asimismo mejorar la capacidad de aprendizaje de los estudiantes, ya que a través de ellas adquieren estrategias que les ayudan a evaluar qué partes de su desarrollo cognitivo necesitan mayor trabajo. Por estas razones, las preguntas metacognitivas que están adaptadas a tópicos específicos de las lecciones son también una parte importante de las clases de ciencias activamente cognitivas que se implementan en el MINT.

#### **6) Aprendizaje inquisitivo**

La enseñanza de las ciencias no solo busca dar conocimientos de conceptos y principios científicos, sino también brindarles a los estudiantes una idea de cómo se desarrollan y comprueban empíricamente las teorías científicas. Una forma efectiva de incentivar en los estudiantes el conocimiento de los elementos esenciales de la investigación científica es el aprendizaje inquisitivo en pequeños grupos (Chen & Klahr, 2006; Wahser & Sumfleth, 2008; Walpuski & Sumfleth, 2007; White & Frederiksen, 1998, 2000, 2005). En este ambiente de aprendizaje cooperativo, los estudiantes desarrollan sus propias preguntas e hipótesis, las prueban con sus propios experimentos e interpretan sus observaciones. De esta forma, a fin de fomentar en los estudiantes la investigación científica, las lecciones de ciencia activamente cognitivas en este estudio también contienen instrucciones para el aprendizaje inquisitivo como una oportunidad para los estudiantes de repensar y trabajar en los conceptos y teorías de esas unidades educativas.

#### **7) Herramientas mentales**

Reconocer las similitudes entre la situación de aprendizaje y las nuevas situaciones relacionadas con el problema y sus posibilidades es la precondition de la transferencia de conocimiento (Mähler & Stern, 2006; Miller, 2000). Alguien que comprende que dos tareas superficialmente diferentes comparten elementos centrales está en una mucha mejor posición para transferir estrategias de razonamiento y resolución de problemas entre una tarea y otra, que una persona que no reconoce esta congruencia. La transferencia de co-

nocimiento puede ser apoyada mediante herramientas mentales como diagramas y gráficos, que tienen la función de dirigir la atención del estudiante hacia los elementos comunes abstractos de tareas superficialmente diferentes (Hardy et al., 2005). La creación activa de gráficos lineares, por ejemplo, tiene efectos positivos en la habilidad de los estudiantes de transferir su conocimiento entre tareas con contenidos diferentes (Stern et al., 2003). Por consiguiente, el entrenamiento con herramientas mentales que son relevantes para la enseñanza de las ciencias son una parte esencial de las unidades activamente cognitivas del MINT.

#### **8) Conectar conceptos abstractos y teorías con aplicaciones técnicas**

El conocimiento inteligente se caracteriza por la multiplicidad de conexiones entre conceptos abstractos y ejemplos concretos de los mismos (King, 1994; Stern, 2005). El conocimiento estructurado en esta forma tiene la ventaja de facilitar el aprendizaje porque provee muchos puntos de referencia a los que se puede conectar nueva información. Si un principio de la física, como por ejemplo la ya mencionada “regla de oro de la mecánica” se conecta a diferentes aplicaciones técnicas como el cascanueces, la manija de la puerta, la rampa, la polea y la prensa hidráulica, reconociendo similitudes abstractas de estas diferentes aplicaciones, es mucho más fácil que si este principio estuviera mentalmente representado sin ninguna de estas conexiones. La transferencia de conocimiento por lo tanto se facilita porque los principios abstractos y sus aplicaciones concretas están representados de una forma que facilita obtener información relevante. Por esta razón, otro elemento importante de las unidades activamente cognitivas del MINT es que los conceptos y principios científicos están conectados a múltiples ejemplos de su realización técnica.

#### **9) Evaluación entre pares**

La evaluación por pares ayuda a los estudiantes a reflexionar sobre los criterios que señalan una buena calidad de las pruebas de aprendizaje, y más adelante aplicar esos criterios a sus propias pruebas. Los estudios muestran que la evaluación por pares, como por ejemplo la evaluación reflexiva, les ayuda a los estudiantes a mejorar la calidad de sus

propias pruebas (Chang et al., 2009; Linn & Eylon, 2006; White & Frederiksen, 1998, 2000). Los tests de logros proveen evidencia de que los estudiantes, en especial los más jóvenes y con más bajas notas, se benefician de la evaluación por pares. Por otra parte, la evaluación por pares les permite a los estudiantes entender que, por ejemplo, sus explicaciones necesitan ser evaluadas y mejoradas hacia explicaciones científicas válidas. Por estas razones, las pruebas con evaluación por pares son una parte importante de las unidades educativas del MINT.

### 10) Currículo en espiral

Construir una base cognitiva inteligente estructurando un conocimiento conceptual propio requiere tiempo. Por consiguiente, es importante que la enseñanza de las ciencias comience temprano y promueva la construcción de conocimientos que puedan ser utilizados más adelante para entender conceptos abstractos. Desde la perspectiva de la investigación en la enseñanza y el aprendizaje, los estudiantes deben ser por lo tanto confrontados durante su currículo escolar con los mismos tópicos centrales, de manera repetitiva en diferentes niveles y con diferentes requerimientos (Stern, 2005). Es por esto que las unidades de enseñanza implementadas en el MINT están diseñadas dentro de un currículo en espiral, de manera que los estudiantes tengan la oportunidad de desarrollar sus conceptos y teorías paso a paso en cada nivel.

Tomadas en conjunto, estas formas de aprendizaje y entrenamiento activo cognitivo deberían optimizar la calidad de la enseñanza de las ciencias de manera que más estudiantes bajo condiciones normales puedan alcanzar un conocimiento inteligente acerca de las ciencias naturales y la tecnología. Puesto que las diferencias en la inteligencia pueden ser compensadas por el conocimiento, al menos hasta cierto punto, se espera que la enseñanza de las ciencias activamente cognitiva según las unidades educativas optimizadas que se desarrollan y utilizan en el MINT produzcan menos alumnos con bajos rendimientos que las clases de ciencias impartidas tradicionalmente.

### El Centro de Aprendizaje MINT

El objetivo del Centro de Aprendizaje MINT consiste en mejorar la educación de la ciencia en la escuela, en las áreas

MINT (matemáticas, informática, ciencias naturales y tecnologías), con el objetivo de que los estudiantes adquieran una mejor educación general acerca de las ciencias naturales y estén mejor cualificados para estudios y profesiones en las ciencias naturales y la tecnología. MINT es el acrónimo en inglés de matemáticas, informática, ciencias naturales y tecnologías (Mathematics, Informatics, Natural Sciences, and Technology). El Centro de Aprendizaje MINT es parte del ETH, centro de formación para la enseñanza y el aprendizaje, EducETH.

En el Centro de Aprendizaje MINT, maestros y científicos cooperan de cerca para desarrollar unidades de enseñanza acerca de temas centrales provenientes de la química, las matemáticas y la física. Estas unidades de enseñanza se desarrollan sobre la base de recientes investigaciones empíricas acerca de la enseñanza y el aprendizaje. Por lo tanto, las formas activamente cognitivas del aprendizaje tales como la incentivación de las autoexplicaciones, las instrucciones para las preguntas metacognitivas y el aprendizaje inquisitivo están integradas a estas unidades. Dichas unidades de enseñanza se difunden a través de seminarios para formación y capacitación de maestros en el Centro de Aprendizaje MINT.

Dado que la educación de las ciencias tiene que empezar temprano, las unidades de enseñanza están diseñadas como un currículo en espiral para todos los grados, desde Primaria hasta Secundaria. De esta manera los estudiantes se topan durante todo su currículo escolar con los mismos temas centrales de manera repetitiva pero en diferentes niveles y bajo diferentes requerimientos. En este currículo en espiral los alumnos tienen la oportunidad de desarrollar sus conceptos y teorías paso a paso en cada nivel.

### Referencias

- Chang, H., Quintana, C., & Krajcik, J. S. (2009). The impact of designing and evaluating Molecular animations on how well middle school students understand the particulate matter. *Nature of Learning*, 1 – 22.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Re-*

*search*, 63, 1–49.

- D. L. Schwartz, C. C. Chase, M. A. Oppezzo & Chin, D. B. (2011). Practicing versus inventing with contrasting cases: the effects of telling first on learning and transfer. *Journal of Educational Psychology*, 22, 1 – 17.
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J., & Chi, M. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*, 22, 47 – 61.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of, floating and sinking. *Journal of Educational Psychology*, 98 (2), 307 – 326.
- Linn, M. C., & Eylon, B.-S. (2006). Science education: Integrating views of learning and instruction. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (2nd ed., pp. 511 – 544). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338 – 368.
- Mähler, C., & Stern, E. (2006). Transfer. In D. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 782-793), Weinheim: Beltz.
- Newcombe, N. S., Ambady, N., Eccles, J., Gomez, L., Klahr, D., Linn, M., Miller, K., & Mix, K. (2009). Psychology's role in mathematics and science education. *American Psychologist*, 64 (6), 538 – 550.
- Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. G. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 191- 203.
- Stern, E. (2005). Knowledge restructuring as a powerful mechanism of cognitive development: How to lay an early foundation for conceptual understanding in formal domains. In P. D. Tomlinson, J. Dockrell & P. Winne (Eds.), *Pedagogy – teaching for learning (British Journal of Educational Psychology Monograph Series II, No.3)* (pp. 153–169). Leicester, UK: British Psychological Society.
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3 – 118.

Para más información favor visitar nuestros sitios web: [http://www.educ.ethz.ch/mint/index\\_EN](http://www.educ.ethz.ch/mint/index_EN)