

La educación en ciencia y tecnología como derecho social en la economía del conocimiento¹

Gabriel Baum*
Adolfo Nemirovsky**
Nora Sabelli***

*"¡Quiere decir que hay un montón de moléculas en el aire que están chocando mi brazo todo el tiempo!"
(un niño de segundo año de secundaria -14 años-
luego de un laboratorio sobre dinámica molecular).*

Introducción

■ 1. Alfabetización científica y tecnológica

Los avances en la ciencia indican claramente que la separación en las disciplinas tradicionales ya no es suficiente para entender nuevas teorías y las nuevas tecnologías. Si un país desea acelerar su integración a una economía que provea de empleo de calidad a la gran mayoría de sus habitantes, debe encarar reformas a la educación en ciencias y tecnologías que faciliten ese cambio, no sólo mejorar la preparación de sus futuros científicos y tecnólogos.

Desde hace algunos años, sobre todo en los países anglosajones y en los países del norte de Europa, se está hablando de alfabetización científica y tecnológica. Se trata de una metáfora que alude a la importancia que tuvo la alfabetización a fines del siglo XIX, al desarrollo económico y al avance de sociedades más ricas y equitativas. Así, la expresión designa a un tipo de saberes, de capacidades o de competencias que, en nuestro mundo técnico científico, corresponderá a lo que fue la alfabetización en el siglo pasado (Fourez, 1997).

La penetración masiva de la ciencia, de la matemática y de nuevas tecnologías en econo-

mías basadas en el conocimiento influye en la vida diaria y en el trabajo de todos los ciudadanos, no sólo en aquellos que contribuyen directamente a la creación de estas nuevas tecnologías. Toda la fuerza productiva de un país está involucrada de manera directa o indirecta con los efectos de los nuevos conocimientos en la economía -ver, por ejemplo, el impacto de la computadora personal (que no existía hace 30 años) en todas las esferas laborales-. En consecuencia, la economía del conocimiento implica que la educación en ciencia y tecnología equivale a un derecho social necesario para participar y contribuir a la vida ciudadana.

Este artículo sugiere que este derecho social tiene implicaciones importantes para las pedagogías a emplear en la educación en general y en las herramientas que se utilizan para implementar las nuevas pedagogías. Por otra parte, las dificultades del sistema educativo para producir egresados bien preparados para insertarse adecuadamente en la sociedad actual, y su consecuencia directa expresada en términos de escasez de recursos humanos calificados para la producción, muestran que es imposible concebir la nueva economía sin repensar la educación, en especial la educación

* Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

** Latipnet, San José, California, Estados Unidos.

*** SRI International, Menlo Park, California, Estados Unidos

¹ En Federico Stezano y Gabriel Vélez Cuartas, compiladores: "Propuestas interpretativas para una economía basada en el conocimiento: Argentina, Colombia, México, Estados Unidos, Canadá". Buenos Aires: Ed. Miño y Dávila, 2008. 1ª

en ciencias, matemáticas, ingeniería y tecnología, si se quiere que la sociedad sea democrática y equitativa.

No basta ya considerar a un individuo como alfabetizado sólo en base a sus conocimientos de lectura y escritura. La definición de alfabetización ha cambiado en el curso de los siglos; la definición en uso corriente es una creación del siglo XVI que evolucionó con la invención de la imprenta, y que ha sobrevivido a lo largo del siglo XX. La economía del conocimiento en el siglo XXI exige un grado de alfabetización mínimo que incluya conocimientos básicos de matemática, ciencia y tecnología, así como el uso de ciertas herramientas informáticas para acceder y manipular información y conocimiento.

Además, van tomando una importancia cada vez mayor la capacidad de abstracción y el pensamiento crítico, y la habilidad de entender y de construir modelos y de manipular simulaciones de sistemas complejos como el medio ambiente, y los sistemas capaces de proveer servicios a organizaciones (ver, por ejemplo, la importancia que asigna IBM a lo que se llama *service sciences*: Spohrer, Maglio y Gruhl, 2007; Spohrer et al., 2006; Spohrer y Riecken, 2006; Chesbrough y Spohrer, 2006). Las organizaciones que abordan este desafío se tornan crecientemente complejas, significativamente dependientes las unas de las otras y de la interacción y comunicación tanto entre individuos como entre individuos y máquinas.

■ 2. El conocimiento de la economía del conocimiento

La evolución de la ciencia ha sido siempre predicada en términos de avances tecnológicos y metodológicos. Las implicaciones de este paralelismo son particularmente importantes ahora cuando los avances tecnológicos están abriendo nuevas áreas para la experimentación, las que a su vez redefinen los problemas que se pueden enfocar y resolver científicamente. Los avances recientes en la escala nano son un buen ejemplo en ese sentido (www.nano.gov, 2007; The Royal Society, 2004; Shank et al., 2005; Roco, 2003).

El uso de nanomateriales tiene una larga historia; por ejemplo, las ventanas de vidrios de colores en las catedrales medievales se basan en las propiedades de estos vidrios en escala nano. Sin embargo, el desarrollo de nuevas herramientas (por ejemplo, el microscopio STM²) que permiten manipular materiales en escalas cada vez más pequeñas, está transformando el diseño de nuevos materiales e incrementando sustancialmente la importancia de la nanotecnología en la industria manufacturera.

Un área más madura que la nanotecnología, en la cual los avances tecnológicos han conducido a un cambio significativo en el tipo de problemas susceptibles al análisis científico, es el estudio de sistemas complejos (Waldrop, 1992; Holland, 1998; Doll, 1993; Mainzer, 2004). Es decir, el estudio de los sistemas en los cuales tiene primacía la interconexión de sus componentes y no las características individuales de estos componentes. Estos sistemas dependen de retroalimentación (*feedback*), responden a causas múltiples, o bien reflejan otros conceptos tales como múltiples niveles interconectados entre sí, o en los cuales diferentes niveles actúan en múltiples escalas temporales, y son fundamentales para la comprensión de importantes fenómenos sociales —la ecología es el ejemplo típico, pero no el único— (Kaput, 1994; Kaput et al., 1999; McMurty, 2007).

Los acelerados avances en las ciencias, además de su crítico impacto en el desarrollo industrial del mundo económicamente globalizado, son de alta importancia para la productividad social, así como para el desarrollo de las habilidades ciudadanas necesarias para negociar qué tipo de sociedad tecnológica y científica se desea generar. La Royal Society del Reino Unido (1985) concluye que la alfabetización científica "puede ser un elemento importante para promover la prosperidad de una nación y para aumentar la calidad de las decisiones públicas y privadas, además de enriquecer la calidad de vida de los individuos". También indica:

"Las diferencias entre quienes consideran la alfabetización científica como el conocimiento, las aptitudes y actitudes esenciales para una carrera

² http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope.

profesional científica o técnica, y quienes la consideran como el acceso y comprensión de la lectura de materiales con dimensiones científicas y/o tecnológicas, incluyendo la capacidad de evaluar esos materiales de manera que ello resulte en decisiones prácticas, incluyendo el voto democrático". (London Royal Society, 1985)

Consideramos que la segunda definición propuesta por la Royal Society indica la manera en que una sociedad puede convertirse exitosamente en una sociedad basada en el conocimiento. Esta definición hace hincapié en la capacidad de la sociedad en general para utilizar el conocimiento generado, y aumentar así la demanda interna de su uso, en un circuito virtuoso que es el paso crucial tanto para el mantenimiento del avance económico cuanto para el bienestar general de la sociedad. Dado el caso, es necesario entender lo mejor posible las implicaciones cognitivas y pedagógicas del desarrollo de la educación en ciencias, al mismo tiempo que se consideran las inversiones en industrias basadas en avances científicos y tecnológicos. El tiempo necesario para educar en forma adecuada a la fuerza laboral requerida es más bien largo, y usualmente se convierte en el cuello de botella de la implementación de planes de crecimiento acelerado.

La educación necesaria para la formación del plantel laboral en todos sus niveles, también contribuye directamente a: (i) aumentar la demanda del desarrollo de tecnología, en particular de la informática, ya que el uso de la informática educativa es crucial para alcanzar, en tiempo razonable, el desarrollo económico planteado; (ii) renovar en forma profunda las bases de conocimientos requeridas para la preparación de maestros y profesores capaces de llevar a cabo su parte en un programa de desarrollo económico. Es decir, es necesario contemplar desde un comienzo la infraestructura humana, sin la cual la infraestructura tecnológica no podrá funcionar óptimamente.

Una manera de comenzar el desarrollo de esta infraestructura humana, es abordar directamente los objetivos y el contenido del currículo de la educación media y superior que se deducen de la nueva ciencia. Las disciplinas tradicionales están evolucionando y sus límites, tal como aparecen en los textos educativos,

están basados en los conocimientos de los siglos anteriores al XX y están siendo reformulados y aun eliminados: la bioquímica y la ciencia de materiales son prácticas divergentes de la química; hay un nuevo sistema de ciencias de nombres complejos -tales como bioingeniería y bioinformática, socioeconomía, socioinformática-; el tiempo es una variable crítica en el estudio profundo de sistemas dinámicos, incluyendo la evolución del universo físico y la evolución de sistemas políticos. La experimentación matemática -es decir, el uso de simulación y modelación- al igual que las visualizaciones que permiten combinar representaciones múltiples de conceptos abstractos, son armas poderosas para profundizar y acelerar no solamente la práctica científica, sino también el aprendizaje y la enseñanza.

Más aun, como resultado de avances en el estudio de los sistemas complejos, parte de la ciencia actual responde a modelos con elementos lógicos o algorítmicos elementales y accesibles, tales como acontecimientos aleatorios. La inclusión de visualización en la simulación de fenómenos complejos permite una exploración visual de esos fenómenos y de los límites de aplicación de los modelos utilizados. Esta metodología es tan importante que ha llegado a ser común en el discurso científico, al punto que se considera a la experimentación matemática o al uso experimental de las simulaciones por computadora como una tercera base (distinguible de la teoría y del experimento físico) en el triángulo utilizado comúnmente para describir las metodologías científicas de fines del siglo XX.

En definitiva, la compartimentación de la ciencia en las disciplinas existentes está siendo desafiada por avances metodológicos y científicos, en tanto que simulación y modelación se van constituyendo en bases indispensables para toda la ciencia moderna. En consecuencia, es concebible que un plan de estudios de la ciencia basada en modelación pueda atenuar los conocidos problemas que surgen de los planes actuales. El uso de los mismos métodos en disciplinas diferentes promete convertir el aprendizaje de la ciencia en un esfuerzo único, fundado en una visión unificadora, interacción entre teoría, modelos, mediciones y datos, con

ventajas obvias para la retención y la comprensión por parte de estudiantes de los conceptos científicos.

Dos temas ya mencionados son útiles para contemplar esta tarea. Uno es el papel de la experimentación matemática en la ciencia contemporánea, el otro son los sistemas complejos. Ambos están directamente relacionados con los problemas y decisiones científicas que enfrentarán los ciudadanos del siglo XXI en la sociedad y en sus decisiones personales. Cualquiera de estos temas se puede utilizar como lente para examinar planes de estudios, para adaptarlos a la evolución de la ciencia y para relacionarlos con las nuevas metas de la educación en ciencias.

Aunque superficialmente modelación y complejidad parezcan diferentes, de hecho están relacionadas: complejidad se refiere a la naturaleza de un fenómeno; modelación es una manera de pensar el estudio de espacios conceptuales complejos. Los sistemas complejos y la modelación proveen de métodos sistemáticos con los cuales profundizar planes de estudios, en contraposición con los currículos agobiantes, concebidos como agregados de temas individuales. Esta profundización es parte de propuestas de planes de estudios conceptuales –basados por ejemplo en conservación de materia y de energía, intercambios energéticos, relación entre forma y función– comunes a varias disciplinas. Las disciplinas involucradas, así enfocadas, pueden contribuir a desarrollar experiencias educativas coherentes dentro de un marco común y proveer a los estudiantes de herramientas conceptuales para entender un mundo cada vez más complejo y cambiante. Puesto que todos tratamos a diario con modelos de sistemas (reales) complejos, seamos conscientes de ese hecho o no, el uso de modelos en la educación general constituye una acción positiva para conectar una ciencia con las otras, conectar la ciencia escolar con la realidad externa, y para acelerar el desarrollo cognitivo de los estudiantes.

Muy pocos de los avances conceptuales mencionados están incorporados en las prácticas de la educación pre-universitaria e incluso en la universitaria, con excepción de la preparación de especialistas altamente entrenados

en algunas áreas científicas. En tanto un país no tenga una base sólida para estudiar y profundizar las aplicaciones de estos conceptos en la educación en ciencias, no podrá optimizar el desarrollo de una economía basada en el conocimiento. Para que tal conocimiento sea eficaz, hace falta una base cognitiva sólida y adecuada, y esta a su vez requiere de un plantel que actualice las investigaciones y asegure su integración con la práctica educativa.

La economía del conocimiento exige una alfabetización superior que incluye conocimientos básicos de matemática, ciencia y tecnología, y el uso de ciertas herramientas informáticas para acceder y manipular información y conocimiento. Además, va tomando una importancia cada vez mayor la capacidad de abstracción y pensamiento crítico, y la habilidad de entender y de construir modelos matemáticos y de manipular simulaciones de sistemas complejos.

Esto puede ser visto como una forma de manipular estos sistemas para entender su comportamiento, y cómo este comportamiento puede ser afectado por ciertos cambios en variables internas y externas, en las reglas del juego que definen el comportamiento del sistema, etcétera. Los países que logren alfabetizar a sus ciudadanos bajo estos estándares, serán aquellos que logren capitalizar los frutos de la economía del conocimiento para incrementar su riqueza y mejorar la distribución de la riqueza generada.

■ 3. Componentes de una infraestructura coherente para que la sociedad pueda aprender a aprender

Un problema de la magnitud propuesta –magnitud sin duda necesaria para el éxito económico deseado–, no se puede solucionar de manera reduccionista, en un solo paso, y con expectativas de éxito inmediato. Hace falta un planeamiento coherente que integre y utilice la mayoría de los diversos mecanismos que provee la sociedad actual, con el objeto de acumular sus beneficios. Por ejemplo, hacen falta subsidios a museos regionales y locales para que se conviertan en centros de actualización científica para padres y maestros, apoyo a una

televisión educativa sería que permita a los individuos obtener nuevas competencias, presu- puestos que reconozcan que los educadores necesitan tiempo libre y recursos para educarse, etcétera. Hacen falta también inversiones en investigación pedagógica para formar expertos capaces de mantener la calidad del sistema, y avances tecnológicos en el campo laboral que se beneficien de subsidios tripartitos (universidad, educación terciaria no universitaria, empresas de producción, editoriales y mecanismos de diseminación, y otros).

Es necesario enfatizar que estos mecanismos deben ser desarrollados con base en un plan de largo alcance, que asegure su interacción y su calidad. Estas características constituyen la única base sobre la cual se puede esperar que los efectos positivos sean aprovechados por la sociedad en general, y que los efectos negativos no sean replicados por falta de información. En otras palabras, la infraestructura que sea provista por el gobierno federal necesita hacer uso del desarrollo tecnológico y cognitivo de redes sociales y de conocimiento -fomentar la creación de lo que se llama *distributed knowledge systems*- que permitan a múltiples individuos e instituciones contribuir a un todo que es mayor que la suma de sus partes.

En este sentido, resulta claro que hay que aprovechar los esfuerzos internacionales, particularmente en Sudamérica, para conformar mercados e instituciones comunes que faciliten economías de escala, apoyen a nodos locales de competencia complementarios, y permitan sumar recursos para desarrollar áreas de excelencia a nivel internacional.

■ 4. Fuerza de trabajo competente para la economía del conocimiento

Hay dos razones por las que el aprendizaje en la sociedad del conocimiento debe ser necesariamente holístico. Una es que la actualización del aprendizaje se vuelve cada día más una actividad permanente, desarrollada a lo largo de toda una vida, y que se refleja de manera distinta en diferentes generaciones y esferas de la vida privada, pública o laboral. La otra razón es que el conocimiento es cambiante, quizás no

lo fuera a mediados del siglo pasado, pero lo es en este momento en que los paradigmas de la ciencia y sus disciplinas están cambiando.

En consecuencia, el objetivo de las inversiones educativas no debería ser solamente la mejora de las instituciones tradicionales de la educación formal tales como escuelas, universidades y las prácticas de entrenamiento laboral; sino que deberá abarcar también otras formas de educación terciaria, de aprendizaje informal (AAAS, 2005) y específicamente de aprendizaje para el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TICs). En este último aspecto es importante reconocer que no se trata de promover una alfabetización digital (es decir, aprender a operar la tecnología), sino también de habilidades cognitivas superiores relacionadas con aprender y comprender qué significa vivir en una sociedad cada vez más compleja e interdependiente, digitalizada y que funciona en red. Esto vale tanto para los estudiantes como para los educadores.

En Latinoamérica en particular, hay una urgente necesidad de cambios educacionales profundos, comenzando por garantizar niveles mayores de educación y de entrenamiento para toda la población, y también de desarrollar las nuevas habilidades y competencias requeridas para asegurar la competitividad de la región y el acceso a las nuevas oportunidades globales (por ejemplo, la industria del *software* y otros segmentos intensivos en conocimiento). El desarrollo de la sociedad del conocimiento y la amplia difusión de las TICs dan lugar a nuevas competencias y habilidades digitales, necesarias para el empleo, educación y entrenamiento, y participación en la sociedad.

• 4.1 ¿Por qué hablamos de educación para el trabajo, y no de entrenamiento vocacional?

Los beneficios de la educación, universitaria y pre-universitaria son, o deberían ser, aprender a aprender, buscar, utilizar, evaluar y comunicar información. Los objetivos del entrenamiento son, por contraste, compensatorios y de alcance limitado (*Studies in Higher Education*, 1998). Fundamentalmente, los objetivos del aprendizaje y del entrenamiento son compen-

sar las limitaciones de la educación escolar básica y acortar la distancia entre la preparación vocacional y la preparación académica, proveyendo un rudimento de esta última orientado hacia objetivos inmediatos. Esto no es suficiente para responder a la naturaleza de las demandas de una tecnología que integra el rápido desarrollo de las ciencias en las cuales se basa. En particular, eso va en contra de la necesidad de habilidades y competencias transferibles requeridas por eficiencias tecnológicas basadas en la rápida adaptación de la manufactura (o del *software*) al mercado, sobre todo si se tiene en cuenta la importancia del diseño de soluciones individuales para distintas empresas de un mismo sector. Esta flexibilidad contrasta con las concepciones previas de eficiencia basada en el uso continuo de equipos para la producción en escala masiva.

Esto no significa que aprendizaje y entrenamiento vocacional no sean útiles; por el contrario, son fundamentales en todo planteo de desarrollo industrial. Pero no son suficientes, deben plantearse como un componente integral de la formación de una fuerza laboral adecuada; más aun, son fundamentales para su desarrollo, ya sea para permitir una distribución equitativa de los beneficios económicos previstos, como para remediar el problema de la baja preparación secundaria de la mayoría de los jóvenes (OECD, 1997; Blondal, Field y Girouard, 2002). La posibilidad de múltiples puntos de entrada a la preparación científica y tecnológica, que puedan ser combinados con periodos de empleo relativamente bien remunerado, es crítica para que el desarrollo industrial cree beneficios sociales generalizados.

Más aun, dada la brecha conceptual que existe en la educación universitaria entre lo académico y lo práctico, un mecanismo de integración de lo intelectual con lo práctico promete beneficios adicionales. Es importante, por lo tanto, analizar en detalle los conceptos de "habilidad, competencia" (*skill*) y conocimientos científicos más básicos (*knowledge*) y, en particular, como los unos se benefician de los otros. No se trata entonces de corregir deficiencias en los planes de estudios, es necesaria una reforma radical de los mismos.

• 4.2 Nueva infraestructura y herramientas para acceso y manipulación de información y apoyo a la generación de conocimiento

El aprendizaje del futuro en la sociedad del conocimiento estará moldeado por una serie de desafíos e innovaciones que comienzan a tomar cuerpo en la actualidad y de las cuales es necesario tomar debida cuenta para poder comprender y planear el futuro. Algunos de los avances tecnológicos que sin dudas ya comienzan a influir en la nueva infraestructura para el aprendizaje son (entre otros, ver European Commission-Joint Research Center, 2006):

- la generalización del acceso a Internet de banda ancha;
- el *Weblogging*, *Short Message Service* (SMS) y el *Multimedia Message Service* (MMS), que se van transformando en las principales fuentes de personalización de la información y de conexión en redes interpersonales;
- la irrupción del *podcasting* (audio y video) que provee oportunidades -mayormente inexploradas aún- para el aprendizaje a través de medios digitales móviles
- la disponibilidad de *software* y contenidos "open source" (por ejemplo, Wikipedia, Open Content-UNESCO), y el almacenamiento de información potencialmente ilimitado y barato; y
- la aparición de nuevos productores de contenidos en Internet que experimentan con servicios que poseen implicaciones claramente educativas (Google Scholar, Google University Search, Yahoo!igans!, o Yahoo! Webguide, etc.).

Algunos de los usos más importantes para el desarrollo científico y tecnológico basados en estos avances ya están bien establecidos. Conceptos tales como "redes de conocimiento" e "inteligencia distribuida" han dado lugar a mecanismos de colaboración que pueden ser críticos para la inserción de investigadores y empresas en el esquema global de desarrollo tecnológico. A este respecto, pueden considerarse por ejemplo las propuestas de *open source software* y más aun, *open source research* (ver Silicon Valley Open Source Research

Project³ y también Open Source Science: A New Model for Innovation⁴).

En este contexto, aparecen las visiones de diversos países y regiones acerca de la infraestructura de la futura sociedad del conocimiento. De particular interés es la visión finlandesa que es una vanguardia de la visión regional de la Unión Europea, denominada *Ambient Intelligence*, que integra las direcciones de desarrollo tecnológico conectando hombres, máquinas y sensores en redes heterogéneas y ubicuas, dando principal importancia a las interfaces amigables y centradas en las personas.

Debemos destacar nuevamente que el objetivo a seguir en los procesos de aprendizaje no debe ser solamente el entrenamiento en el uso de nuevas herramientas, que es necesario y muy valioso, sino la capacidad de entender cómo funcionan esas herramientas, interrelaciones entre ellas, capacidad de interpretación de datos que se generan en experimentos o análisis usando estas herramientas, de capacidad de diseño de nuevas herramientas, etcétera. Así, sobre todo, nos interesa desarrollar la capacidad de aprender a aprender, con espíritu crítico, y siguiendo objetivos claros (e.g., proyectos que generen valor en el mercado o en la sociedad, preparación para empleos de calidad que requieren flexibilidad y adaptación).

Los desafíos y las tendencias tecnológicas indicadas deben sin dudas ser abordadas por los países latinoamericanos. Sin embargo, esto sólo tendrá impacto en la medida que se atiendan los desafíos y tendencias sociales de la región, los que tienen un impacto sustancial para el aprendizaje actual y del futuro. Así, junto con la emergencia de nuevas habilidades y competencias ya mencionadas, es necesario atender a las enormes diferencias sociales y a las no menores porciones de la sociedad excluidas de los sistemas educativos y de desarrollo social. Sin atender estas problemáticas es factible que el desarrollo de las tecnologías solamente aumente las brechas digitales y sociales existentes.

Algunas de las políticas iniciadas últimamente en países como Argentina y Brasil parecen ir en la dirección correcta, sin embargo, todavía resta mucho por andar. Resulta fundamental un aumento sostenido de los presupuestos para la educación, formación profesional y entrenamiento. La disminución de estos presupuestos redundó en épocas recientes en una baja en la calidad de la educación y dieron lugar a una tendencia a la privatización de la educación; la que por otro lado, no generó un aumento en la calidad educativa, particularmente en el nivel universitario. Cabe hacer notar que la privatización de la educación universitaria y pre-universitaria es particularmente nefasta en las áreas de ciencias y tecnología que dependen de laboratorios experimentales y de acceso a equipos modernos.

■ Conclusión

La lucha por obtener una fuerza de trabajo capacitada se está transformando en una disputa feroz a escala mundial. Es necesario entonces realizar esfuerzos importantes para construir ambientes de educación, trabajo y de vida adecuados, tanto para preservar los recursos propios como para atraer personas especializadas de otros países. Al mismo tiempo, es importante posibilitar que la gente se mueva en busca de educación y conocimientos científicos y tecnológicos en cualquier lugar del mundo, luego regresando al país, o formando parte de la red global de conocimiento de profesionales argentinos o latinoamericanos en el exterior, que debe ser aprovechada y vista como un recurso valioso para el país y la región.

¿Cómo ir transformando la educación, adaptándonos a los requerimientos del siglo XXI, y creando las capacidades en el país y la región para aprovechar las oportunidades que genera la sociedad del conocimiento? Intervenciones esporádicas o ad-hoc -como el desarrollo de materiales o talleres aislados- no conducen necesariamente a cambios permanentes. Un

³ <http://www.cob.sjsu.edu/OpenSource/>.

⁴ <http://hbswk.hbs.edu/item/5544.html> y <http://www.altfutures.com/2029/Open%20Source%20Research.pdf>.

cambio masivo, a realizarse con recursos necesariamente limitados, requiere un enfoque infraestructural y sistémico que vaya creando focos exitosos capaces de ser replicados. La experiencia indica claramente que recursos distribuidos en cientos de proyectos aislados, si bien conducen a la mejora de la educación, no conducen a su reforma. Los mismos recursos, utilizados dentro de una estrategia de reforma, pueden conducir a un cambio paulatino y sostenible que, a más largo plazo, beneficia a todos.

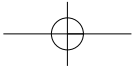
Finalmente, mencionaremos las siguientes premisas como elementos básicos para impulsar una reforma: a) enseñar ciencia, tecnología y matemáticas de manera integral, para que lo que se aprenda en una se pueda reforzar en otras; b) enseñar ciencias en base a problemas concretos que ayuden a poner en claro la utilidad social de la ciencia, y que puedan contribuir a mejoras locales, c) concebir una estructura que sea sostenible, reproducible y transparente, y que permita que los maestros y profesores reciban el apoyo continuo que necesitan para cambiar sus prácticas, y d) enseñar desde edad temprana (inclusive ya en la escuela primaria) cómo crear modelos de sistemas complejos, y desarrollar e interpretar (que es aún más difícil e importante) modelos de simulación de estos sistemas⁵. Por sobre todo, enfatizar que el objetivo que se persigue es crear la capacidad y confianza para aprender a aprender en el resto de la vida.

Proyectos encarados de esta manera pueden jugar un papel importante no sólo en la renovación del personal docente, sino también en la creación de un liderazgo más comprensivo, y en la creación de laboratorios pedagógicos para desarrollar la investigación educativa en el país. Para ello, deberá ser abordado en conjunto con instituciones locales de nivel terciario y de educación informal que faciliten el intercambio de personal y la doble responsabilidad educativa y de investigación.

■ Bibliografía

- AAAS (2005), *Preparing Women and Minorities for the JT Workforce: The Role of Nontraditional Educational Pathways*, http://www.aaas.org/publications/books_reports/ITW/.
- Blöndal, S.; S. Field y N. Girouard (2002), "Investment in Human Capital Through Upper-Secondary and Tertiary Education" in *Economic Studies*, N° 34, OECD.
- Chesbrough, H. y J. Spohrer (2006), "A Research Manifesto for Services Science", *Comm. ACM*, July, pp. 35-40.
- Doll, W. E. Jr. (1993), *A Post-modern perspective on Curriculum*, Teachers College press.
- European Commission, Joint Research Center (2006), "The Future of JCT and Learning in the Knowledge Society", Octubre, Sevilla.
- Fourez, G. (1997), *Alfabetización Científica y Tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*, Buenos Aires, Ediciones Colihue.
- Holland, J. (1998), *Emergence: From Chaos to Order*, Addison-Wesley.
- Kaput, J.; Bar-Yam, Y.; Jacobson, M.; Jakobson, E.; Lemke, J. y Wilensky, U. et al. (1999), "Planning documents for a National Initiative on Complex Systems in K-16 Education", <http://necsi.org/events/cxedk16/cxedk16.html>.
- Kaput, J. J. (1994), "Democratizing access to calculus: New roads to old roots", en: A. H. Schoenfeld (ed.), *Mathematical thinking and problem solving*, New Jersey, Hillsdale; Ballston, VA, Erlbaum, pp. 77-156.
- London Royal Society (1985), *The Public Understanding of Science*.
- Mainzer, K. (2004), *Thinking in Complexity: the Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind*, EE.UU., Springer.
- McMurty, A. (2007), <http://complexityandeducation.ualberata.ca/glossary.htm>
- OECD (1997), *Education policy analysis 1997 - Responding to new demand in tertiary education*, <http://www.oecd.org>.
- Roco, M. C. (2003), "Converging science and technology at the nanoscale: Opportunities for education and training" in *Focus on Nanotechnology*, 21 (10), pp. 12471249.
- Royal Society, Royal Academy of Engineering (2004), "Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties", www.nanotec.org.uk/finalReport.htm.
- Schank, P., Rosenquist, A., Sabelli, N., Cormia, R., Patton, C., Stanford et al. (2005), "Report of the Workshop on Science and Technology Education at the Nanoscale. Menlo Park, CA: SRI International", www.nanosense.org/documents/reports/NanoWorkshopReportDraft.pdf.
- Spohrer J. y D. Riecken (2006), "Special Issue: Services Science", *Comm. ACM*, July, pp. 30-32.

⁵ Esto podría ser una extensión natural de la experiencia de los niños que están acostumbrados a juegos por computadora, que en general son simulaciones de sistemas complejos.



La educación en ciencia y tecnología como derecho social en la economía del conocimiento

Spohrer, J. et al. (2006), "Convergence and Coevolution: Towards a Services Science", en: M. C. Roco y W. S. Bainbridge (eds.), *Nanotechnology: Societal Implications 1: Maximizing Benefits for Humanity*, Springer.

Spohrer, J.; P. Maglio y D. Gruhl (2007), "Steps Toward a Science of Service Systems", *Computer*, Vol. 40, N° 1, January, IBM Almaden Research Center, pp. 71-77.

Studies in Higher Education (1998), *Key Skills and Curriculum Reform*, Vol. 23, N° 3.

Waldrop, M. (1992), *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Chaos and Order*, Touchstone Press.

WWW.NANO.GOV (2007), <http://www.nano.gov/NNC06Budget.pdf> [fecha de consulta: el 15 de abril de 2007].

