

EDUCACIÓN EN CIENCIAS
LA CIENCIA SE APRENDE HACIENDO CIENCIAS

Jorge Allende Rivera

JORGE ALLENDE RIVERA

Premio Nacional de Ciencias Naturales 1991.
Académico de la Facultad de Medicina de la
Universidad de Chile. Bioquímico de la misma
Casa de Estudios y Doctor en Bioquímica de la
Universidad Yale.

EDUCACIÓN EN CIENCIAS LA CIENCIA SE APRENDE HACIENDO CIENCIAS

El siglo XXI se caracteriza por el incontenible avance de las ciencias y de su principal producto: el conocimiento. Estamos en la “era del conocimiento”. Se ha calculado que el conjunto de saberes que ahora tiene la humanidad a su disposición se duplicará en cinco años. En todas las partes del mundo hay millares de hombres y mujeres que trabajan con extraordinaria dedicación y entusiasmo para saber más, para satisfacer la curiosidad innata en nuestros cerebros de querer entender lo que pasa en nuestro entorno y por qué pasa, y también de cumplir con el mandato escrito en la entrada del Templo de Apolo en Delfos de la antigua Grecia, que nos decía “conócete a ti mismo” (Ref. 1). Pero Sir Francis Bacon, uno de los padres de la ciencia moderna, en sus “Meditaciones Sacrae” (1597) nos declaraba “*ipsa scientia potestas est*”, que nos precisa que la ciencia misma (el conocimiento) es poder. Las naciones y los pueblos que tienen ciencia y conocimientos adquieren poder, capacidades para resolver sus problemas socioeconómicos y para que su gente pueda disfrutar de vidas más plenas, más sanas y productivas.

Chile y la mayoría de los países latinoamericanos no han tenido una larga tradición de cultivar las ciencias, generando nuevos conocimientos mediante la investigación científica. Con raras y admirables excepciones, sólo en la segunda mitad del siglo XX se logró instalar la investigación científica como un quehacer aceptado y estimulado en parte de nuestras universidades. No es extraño entonces que la enseñanza de las ciencias experimentales en las escuelas primarias y liceos secundarios haya estado compuesta por ramos tradicionalmente poco importantes en los currículos de nuestros niños y jóvenes. Otro factor que sin duda influyó en este relativo abandono tenía que ver con el costo de los instrumentos y materiales necesarios para enseñar las ciencias experimentales y con la falta de recursos para adquirirlos. La falta de los recursos e infraestructura en las instituciones que preparan a los profesores en las ciencias experimentales también contribuyó a que la mayoría de estos docentes carecieran del entrenamiento y la experiencia para poder guiar a sus alumnos en el diseño e implementación de experimentos que les permitieran redescubrir los fundamentos de los conceptos básicos de las ciencias experimentales.

Hay un *dictum* que es muy verdadero: “la ciencia se aprende haciendo ciencia”. Es posible que se puedan contestar preguntas científicas basadas en la buena

memoria de fórmulas, definiciones o términos, pero es improbable que se logre la comprensión con la misma profundidad que se obtiene cuando hemos hecho las manipulaciones experimentales y hemos observado y anotado los resultados que verifican o niegan una hipótesis. Este es un punto fundamental, porque uno de los aspectos más relevantes de la educación en ciencias no es sólo el aprendizaje de conceptos científicos, sino poder adquirir la práctica del pensamiento científico. El pensamiento crítico de las ciencias es aplicable a cualquier problema o pregunta, pero tiene la virtud de ser libertario en el sentido de que rechaza los dogmas que sólo se basan en la autoridad del que los emite. Exige una demostración rigurosa que esté acorde con los hechos observables experimentalmente y que se eliminen o consideren todas las otras explicaciones imaginables razonablemente.

En este sentido, los niños y jóvenes que conozcan y apliquen el pensamiento crítico de la ciencia serán ciudadanos exigentes que demandarán de sus líderes políticos una rigurosa verdad y resultados que demuestren la validez de sus propuestas.

Uno de los ejercicios más claros de lo que es el pensamiento crítico de la ciencia lo encontramos cuando diseñamos el protocolo de un experimento. En ese ejercicio perseguimos que los resultados nos den una respuesta lo más unívoca posible. Esto lo hacemos, por ejemplo, introduciendo controles internos que nos dicen que todos los instrumentos y todos los materiales que usamos estén funcionando adecuadamente. También, en lo posible agregamos controles negativos, por ejemplo, dejando afuera un elemento que se presume esencial. Si ese control funciona igualmente, debemos dudar de los resultados obtenidos. Pero es difícil diseñar un protocolo que incluya todas las variables que podrían afectar el resultado de un experimento y, por lo tanto, es comúnmente aconsejable que los protocolos los diseñemos con una estrategia que va tratando de eliminar gradualmente las piezas que nos esconden la verdadera respuesta que buscamos. Es un juego que jugamos contra la naturaleza, que casi siempre resulta más inteligente y más misteriosa que nosotros. Sin embargo, este enfoque científico va corriendo los velos que cubren la magnífica y bella armonía que predomina el Universo que habitamos.

No es el objetivo de estas líneas revisar la historia de la educación en ciencias. Nos limitaremos a relatar brevemente algunos enfoques recientes que me ha tocado conocer más de cerca y la experiencia que hemos tenido con ellos en Chile.

La Universidad de Chile y sus académicos tenemos una especial misión de ocuparnos especialmente de acciones que tiendan a mejorar la calidad de la educación en las escuelas y liceos que son públicos y que atienden a los estratos menos favorecidos de la sociedad chilena. Esa ha sido siempre nuestra prioridad.

LA REACCIÓN DE ESTADOS UNIDOS A LA CRÍTICA DE “UN PAÍS EN RIESGO”, LA METÓDICA ECBI

En el año 1983 una Comisión Nacional sobre Excelencia en Educación le presentó al Presidente Ronald Reagan de Estados Unidos un informe titulado “*A Nation at Risk: The Imperative for Educational Reform*” (Ref. 2) (“Una Nación en Riesgo: El Imperativo para una Reforma Educacional”. Este informe se enfrentó con la tarea de evaluar “la calidad de la enseñanza y aprendizaje” en los niveles de primaria, secundaria y postsecundaria en las esferas tanto públicas como privadas y con la de comparar las instituciones de educación de Estados Unidos con sus equivalentes de otras naciones avanzadas. El tono dramáticamente crítico de este informe quedó reflejado por sus primeras páginas, que dicen: “Los cimientos educacionales de nuestra sociedad están actualmente siendo erosionados por una marea de mediocridad que amenaza seriamente nuestro futuro como nación y como pueblo”. También dice: “Si alguna potencia enemiga hubiere tratado de imponerle a Estados Unidos el desempeño de mediocridad educacional que hoy existe, lo hubiéramos considerado como un acto de guerra”.

La dura crítica de este informe y las deficiencias que fueron detectadas causaron gran revuelo en ese país, que era en ese momento, y aún lo sigue siendo, líder indiscutido en avances en ciencia y tecnología a nivel mundial.

Una de las instituciones que reaccionó fuertemente ante el informe fue la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, que congrega a los más destacados científicos de ese país, incluyendo también a un importante grupo de científicos extranjeros. Como era de esperarse, por su naturaleza, esa institución se ocupó de tratar de generar un nuevo enfoque para enseñar las ciencias y unió fuerzas con otra institución de gran capacidad y prestigio, el Smithsonian Institution de Washington, que es uno de los mejores museos de ciencia del mundo. Las dos instituciones reunieron a un gran equipo de especialistas en educación y en ciencias, y con financiamiento de la National Science Foundation, la principal agencia para el apoyo de la investigación en ciencias de Estados Unidos, iniciaron un programa coordinado originalmente por el Centro Nacional de Recursos para la Ciencia (NSRC). El proyecto que surgió en los primeros años tenía tres premisas principales: 1) La educación en ciencias debiera dar prioridad a los primeros años de enseñanza, abarcando desde el kínder hasta el fin de la primaria (ocho años de educación). 2) El aprendizaje de los niños debiera reproducir en la sala de clases la manera en la que los científicos adquieren conocimientos en el laboratorio. Esto es, planteándose preguntas, generando hipótesis sobre las posibles respuestas a esas preguntas, haciendo experimentos que pudieran dar respuesta a esas preguntas, analizando los resultados y sacando conclusiones. Los niños con esta metódica indagatoria pasan

a ser los principales actores de su propio aprendizaje y los docentes actúan como facilitadores y guías de la indagación. 3) Los conceptos científicos se aprenden mediante módulos de indagación que se centran en la comprensión de conceptos científicos fundamentales. Esos módulos ponen a disposición de los alumnos y profesores todos los materiales que necesitaron para el proceso de aprendizaje. (Para detalles ver www.ssec.si.edu/ns) (Ref. 3).

La metódica de la Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) es un proceso sistémico que incluye: a) desarrollo profesional de los docentes, en el que estos aprenden el cambio de enfoque didáctico y refuerzan sus conocimientos científicos; b) la entrega de los materiales necesarios para implementar los módulos; c) una evaluación permanente de la implementación, especialmente una evaluación formativa; d) desarrollo curricular que elige los conceptos fundamentales que deben incluirse en cada nivel; e) participación de la comunidad (escolar, familiar, científica, de autoridades) en el proceso.

Esta metódica se ha implementado desde fines de los ochenta hasta ahora en gran parte de Estados Unidos (más del 30% de los distritos educacionales). El Dr. Georges Charpack, Premio Nobel de Física francés, visitó al Dr. Leon Lederman, Premio Nobel en Física de Estados Unidos, quien le mostró una escuela de Chicago en la que se usaba la metódica indagatoria en los años noventa. Tal fue la impresión de Charpack que cuando regresó a Francia, habló en la Academia de Ciencias de ese país y convenció a esa famosa institución de trabajar para iniciar un proyecto similar en Francia. Ese fue el inicio del proyecto “*La Main à la Pâte*”, que actualmente cubre la mayoría de las escuelas primarias de Francia con un decidido apoyo del Ministerio de Educación de ese país. (Ref. 4).

CONTRIBUCIONES DE ALGUNOS CIENTÍFICOS A LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS EN LOS NIVELES PREUNIVERSITARIOS EN CHILE

Debemos reconocer que varios científicos en Chile se han preocupado por la educación en ciencias en los niveles de educación básica y media. El Dr. Ignacio Domeyko, nativo de Bielorrusia con estudios en la Universidad de Viena y después en la Escuela de Minas de La Sorbona, vino a Chile contratado por la provincia de Coquimbo para enseñar mineralogía y química en el Liceo San Bartolomé de La Serena. Posteriormente fue profesor del Instituto Nacional en Santiago y Rector en la Universidad de Chile. También impulsó la creación de las Escuelas de Minas de La Serena y Copiapó. Otro científico extranjero que tuvo gran influencia fue el botánico alemán Dr. Federico Johow, quien llegó a Chile en 1889 a incorporarse al Instituto Pedagógico para desempeñar la cátedra de Botánica, a través de la cual

formó a cientos de profesores hasta 1925. Otro muy destacado científico preocupado de la educación en ciencias de los niños y jóvenes fue el Dr. Héctor Croxatto Rezio, formado como científico por el Dr. Eduardo Cruz Coke en la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y quien posteriormente se desempeñó en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile y en el Instituto Pedagógico de la Universidad de Chile, donde también formó a muchos profesores con el pensamiento crítico de las ciencias. Sus trabajos científicos sobre los factores que regulan la presión sanguínea le merecieron ganar el Premio Nacional de Ciencias en 1979. Su principal contribución a la educación en ciencias fue, sin embargo, el haberse desempeñado como primer Director del Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas (CPEIP) del Ministerio de Educación en 1966, bajo la Presidencia de Eduardo Frei Montalva y siendo Ministro de Educación el ex Rector de la Universidad de Chile, Don Juan Gómez Millas. En ese cargo y con el constante apoyo del Profesor Mario Leyton (Premio Nacional de Educación 2009), que se desempeñaba como Subsecretario de Educación, el Dr. Croxatto impulsó notablemente el perfeccionamiento y desarrollo profesional de profesores de ciencias de las áreas primaria y secundaria.

LA ASOCIACIÓN DE PROFESORES DE CIENCIAS (1994-2000)

Entre los años 1991 y 1994 me tocó desempeñarme como Presidente de la Academia Chilena de Ciencias del Instituto de Chile. En ese período nos correspondió organizar en Santiago la Asamblea General del Consejo Internacional de Ciencias (ICSU), en ese entonces llamado Consejo Internacional de Uniones Científicas. A esa Asamblea General vinieron en septiembre de 1993 varias centenas de científicos de todas las disciplinas, representando a las Sociedades Científicas Internacionales y a la mayoría de las Academias Nacionales de Ciencias de todo el mundo. Para esa ocasión asumimos la tarea de crear un directorio de investigadores y un estudio de la realidad de la ciencia en Chile, llamado “Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena 1993”. Este estudio reflejaba muy seriamente la visión de la comunidad científica nacional y contenía nuestra opinión acerca de cómo impulsar su desarrollo futuro (Ref. 5).

Además, aprovechamos la oportunidad de compartir con tantos otros académicos para convocarlos a asesorarnos sobre cómo los científicos podían mejorar sus contactos con la sociedad en nuestro país. Con ese fin convocamos a los representantes de una cincuentena de academias a un taller en una mañana de sábado, en la que les solicitamos que nos contestaran preguntas sobre cómo deberíamos interactuar con: a) líderes políticos; b) los medios de comunicación

social; c) los profesores de ciencias de los niños y jóvenes en educación primaria y secundaria.

Con respecto a esta última pregunta, la respuesta de las principales academias, como la NAS de Estados Unidos, la Academia Real de Suecia y la Royal Society del Reino Unido, fue que ellos colaboraban muy activamente con sus respectivas Asociaciones Nacionales de Profesores de Ciencias, participando en sus congresos y organizando actividades de capacitación y actualización de profesores conjuntamente.

Como en ese momento en Chile no existía una Asociación Nacional de Profesores de Ciencias, con el decidido apoyo de los académicos Héctor Croxatto, Rolando Chuaqui (que era mi Vicepresidente y que falleció en 1994), Igor Saavedra, Nibaldo Bahamondes y Juan Garbarino, decidimos organizarla. Para eso nos dimos la tarea de hacer una lista de profesores de ciencias que asiduamente se inscribían en cursos de perfeccionamiento y que impulsaban la participación de sus alumnos en olimpiadas de física y química o en ferias científicas. Cuando tuvimos varias decenas de nombres los citamos a una reunión en la Academia y les preguntamos si querían organizarse en una asociación con el objetivo de mejorar la calidad de su docencia.

La respuesta fue entusiastamente positiva e inmediatamente los profesores citados se organizaron para difundir la idea en otras ciudades del país y trabajar en preparar una asamblea que pudiera dar origen a la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de Chile. Por su parte, la Academia presentó esta idea al Ministro de Educación de ese momento, Ricardo Lagos Escobar, y obtuvimos su decidido apoyo. Además, la Academia ganó un proyecto de la Fundación Andes para conseguir financiamiento con el fin de alcanzar personería jurídica para la nueva Asociación y para organizar la asamblea, a la que invitamos a la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de Estados Unidos (NSTA), que envió una delegación a relatar cómo funcionaba esa poderosa institución.

Así fue como al terminar mi mandato como Presidente de la Academia, en noviembre de 1994, ya existía la ANPC, tenía personería jurídica y un directorio integrado por profesores de ciencias y tres representantes de la Academia Chilena de Ciencias que éramos Igor Saavedra, Juan Garbarino y yo.

Esa Asociación organizó congresos y cursos nacionales, a la vez que desempeñó un papel importante en impulsar el interés de los profesores en perfeccionarse y en tomar contacto con los científicos nacionales. Desgraciadamente, después de unos años, los científicos del directorio fuimos asumiendo otras responsabilidades y al interior de la Asociación hubo desacuerdos y rivalidades que entorpecieron su funcionamiento, hasta que en el año 2000 dejó de funcionar. Todavía pienso que deberíamos revivir esta institución y que actualmente podría hacer importantes aportes a la Reforma Educacional.

EL PROGRAMA ECBI EN CHILE

El año 2000, bajo el liderazgo de la National Academy of Sciences de Estados Unidos, la Royal Society del Reino Unido y el Science Council de Japón se convocó a todas las Academias Nacionales de Ciencia a reunirse en Tokio, Japón, para aprovechar el inicio del nuevo milenio y mirar hacia el futuro. Se puso la mira en el año 2050 y se decidió estudiar los grandes desafíos que la sustentabilidad de nuestro planeta le planteaba a las ciencias.

El título de la conferencia fue “Transición hacia la sustentabilidad” y fue inaugurada nada menos que por el Emperador de Japón. Yo fui invitado a hablar en la sesión sobre Educación en Ciencias y la Academia Chilena de Ciencias me designó como su representante. En dicha conferencia quedó constituida una nueva institución, el Panel Interacademias (IAP), que actualmente reúne a 105 Academias Nacionales en todo el mundo y que tiene sede en Trieste, Italia.

En la sesión en la que me tocó hablar fuimos tres oradores: el Dr. Bruce Alberts, en ese momento Presidente de la NAS de Estados Unidos, el astrofísico francés Pierre Léna y yo. En dicha sesión hablé principalmente sobre la necesidad de borrar la muy mala imagen que los niños comúnmente tienen de los científicos, usando el ejemplo de un experimento realizado por el bioquímico brasileño Dr. Leopoldo de Meiss, en el que se les pidió a los niños de muchos países dibujar un científico (Ref. 6). Esos dibujos eran muy negativos, pues mostraban a hombres con caras siniestras torturando animales o haciendo explotar bombas. Además, no aparecían mujeres científicas y en los países del sur de África los niños dibujaban a todos sus científicos de raza blanca.

Para mí lo más importante fue escuchar la presentación de los Dres. Alberts y Léna acerca de cómo la educación en ciencias basada en la indagación había sido adoptada en Estados Unidos y Francia, y de cómo los resultados obtenidos en esa metódica eran extraordinariamente positivos, ya que los niños se maravillaban con la experiencia de aprender conceptos científicos. Además, me motivó mucho que este enfoque demostrara que las instituciones científicas tienen un papel relevante a la hora de lograr que los niños aprendan y gocen con la ciencia. En ese momento decidí que teníamos que hacer todo lo posible para introducir la metódica ECBI a Chile e inmediatamente conversé con Bruce Alberts y Pierre Léna para planear visitas a Estados Unidos y Francia de modo de tener una experiencia directa referida a los detalles de la metódica.

En una pasada por Washington, pocos meses después, visité el Smithsonian Institution, donde conocí al Dr. Douglas Lapp y a la Dra. Sally Schuler, quienes dirigen el Centro Nacional de Recursos para la Ciencia que actuaba como casa matriz del Programa ECBI de Estados Unidos. Ellos me regalaron los libros para

profesores y alumnos que detallaban los módulos de enseñanza de las ciencias que usaban para que los niños aprendieran conceptos básicos de la ciencia y que tenían títulos tan simples como *Propiedades de la materia*, *Química de los alimentos*, *Flotar o hundirse*, o *El clima*.

Cada uno de estos módulos tenía un kit o conjunto de materiales muy sencillos que se usaban en las salas de clase para que los niños hicieran los experimentos que demostraban los conceptos que enseñaban. En esa visita conseguí que los Dres. Lapp y Schuler me prometieran ir a Chile a poner en práctica el uso de esos módulos.

Por otro lado, en correspondencia con Pierre Léna supe que la Academia Pontificia de las Ciencias estaba organizando, para fines del 2001, una reunión en el Vaticano para hablar de la educación en ciencias. Pierre, que es miembro de esa Academia, prometió invitarme a esa reunión.

De regreso a Chile, le conté todos estos detalles a Rosa Devés, que había sido Subdirectora del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Facultad de Medicina cuando yo fui el primer Director y que en ese momento estaba trabajando en la Unidad de Curriculum del Ministerio de Educación. Ella había sido compañera de colegio de Mariana Aylwin, la Ministra de Educación nombrada por el Presidente Lagos. Rosa se interesó mucho en esta nueva metódica de enseñar ciencias y los dos trabajamos para convencer a la Ministra Aylwin de que Chile debía adoptar esa metódica.

Conseguí que el Ministerio de Educación patrocinara un proyecto al Programa de Participación de la Unesco para financiar una reunión de Academias de Ciencias que se realizaría en Chile en enero del 2002 y a la que vendría el equipo de Estados Unidos a hacer una demostración de la metódica ECBI. También vendría el Dr. Pierre Léna de la Academia Francesa de Ciencias y, desde México, el ingeniero Guillermo Fernández de la Garza, quien estaba introduciendo esa metódica con apoyo de Estados Unidos y había traducido los módulos al castellano. Previo a esto participé en la reunión en el Vaticano, que fue extraordinaria, pues nos alojaron en el Domus Marta, donde se alojan los Cardenales (mi esposa Catherine me acompañó) y tuvimos el notable privilegio de ver por la ventana la cúpula de San Pedro diseñada por Miguel Ángel y escuchar sus majestuosas campanas durante la noche. La reunión fue también extraordinaria, siendo lo más importante la demostración del módulo “Flotar o hundirse”, en el cual grupos de los participantes hicimos lo mismo que los niños de cuarto básico hacen en sus escuelas. A mí me tocó participar con el físico alemán Rudolf Ludwig Mössbauer, ganador del Premio Nobel del año 1961 y con el secretario perpetuo de la Academia de Ciencias de Francia. Las presentaciones de esa reunión se publicaron en un libro de la Academia Pontificia de las Ciencias (Ref. 7).

Realmente nos divertimos como niños viendo y haciendo predicciones acerca de si algún objeto flotaría o se hundiría en una bandeja de agua. De pronto nos dimos cuenta de que nuestros resultados diferían del grupo vecino, lo que nos preocupó hasta que el Dr. Mössbauer metió su dedo en el agua y lo probó, después de lo cual soltó una carcajada y dijo “hasta en el Vaticano hacen trampa”, pues claramente nuestra agua tenía una gran cantidad de sal.

La reunión en Chile, donde repetimos las demostraciones con la ayuda del grupo de la Smithsonian, fue muy exitosa. En un almuerzo realizado en el Ministerio de Educación el Profesor Léna, al saber que la Ministra Aylwin iba a ir a París a una reunión en la Unesco, la comprometió a visitar una escuela en dicha ciudad en la que se implementaba el proyecto “*La main à la pâte*”. Esa visita convenció a la Ministra del gran impacto que esa metódica tenía en los niños que disfrutaban aprendiendo ciencias. Recientemente, Pierre Léna publicó un libro en que relata esta visita y su efecto en Chile (Ref. 8).

Por otro lado, el grupo de la Smithsonian invitó al Ministerio de Educación de Chile a enviar un grupo de científicos y educadores a hacer un taller de planificación estratégica que prepara a los equipos de los nuevos distritos educacionales que van a introducir el método indagatorio.

Afortunadamente, Rosa Devés aceptó liderar ese grupo, que aprovechó muy bien esa visita que se realizó en julio del año 2002.

En el intertanto yo redacté un proyecto para la Fundación Andes por un total de USD\$ 100.000, que aportaba el 50% del costo de un proyecto para iniciar la introducción del Programa ECBI en Chile en seis escuelas de Cerro Navia a través de los módulos de “Propiedades de la materia” y “Química de los alimentos” para los niveles de sexto y séptimo básico. La elección de Cerro Navia se debió a que la alcaldesa de esa Municipalidad, Cristina Girardi, y su Director de Educación, Santiago Aranzaes, le otorgaban gran prioridad a mejorar los niveles de la educación en ciencias de esa comuna.

El proyecto fue aprobado por la Fundación Andes y también por el Ministerio de Educación, que aportó otros USD\$ 100.000 para su financiamiento, lo que era un requisito para la Fundación Andes.

Rosa Devés, Patricia López Stewart y Elizabeth Liendro montaron en noviembre del 2002 una capacitación de profesores que actuarían como monitores en la implementación del proyecto, y en enero del 2003 este grupo realizó la capacitación de los profesores de Cerro Navia, que incluyó también a los directores y jefes de UTP de las seis escuelas. Desde Washington habíamos recibido muestras de los módulos que se iban a usar y no fue muy difícil replicar esos materiales adquiriéndolos en Chile.

Así fue como en marzo del año 2003, sólo dos años y medio después de haber conocido la metódica indagatoria en la reunión de Tokio, la teníamos instalada en escuelas públicas de una comuna con población en riesgo en Chile.

El impacto que resultó de la implementación de este proyecto sobre los niños, profesores y directivos de las escuelas fue inmediato y tremendamente potente, pues las clases de ciencias se transformaron en pocas semanas en lugares de mucha conversación, actividad y discusión. Los niños gozaban con los experimentos y los profesores se sorprendían con el interés de sus alumnos y lo que estos escribían en sus cuadernos de ciencias, donde relataban lo que habían aprendido. Los padres también se sorprendían cuando sus hijos, provenientes de una de las comunas más pobres de la Región Metropolitana, les contaban que eran los primeros niños de Chile que aprendían con la metódica y materiales que se usaban en Estados Unidos.

La presión rápidamente creció para aumentar el número de módulos a quinto y octavo básico, con lo que se llegó a cubrir todo el segundo ciclo de la educación básica en 24 escuelas el año 2004. Ya en el 2005, el Sr. Pedro Montt, Director de Educación General, solicitó ampliarlo a todo el primer ciclo de la básica. En el 2005 el Ministerio incorporó la ECBI como una iniciativa experimental, sumándose así a la experiencia LEM (lecto-escritura y matemáticas).

El programa de la Región Metropolitana en las comunas de Cerro Navia, Pudahuel y Lo Prado se implementó bajo la conducción de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. A partir del 2005 se incorporaron escuelas de la Quinta Región a cargo de la Universidad de Playa Ancha con apoyo de la Universidad Santa María, y en la Octava Región, a cargo de la Universidad de Concepción. El año 2006 se incorporaron las Universidades de La Serena, a cargo de la Cuarta Región, la Universidad de la Frontera, a cargo de la Novena Región, y la Universidad de Talca a cargo de la Séptima Región, lo que abarcaba un total de 94 escuelas. En el año 2009 participaban 12 universidades que intervenían en 250 escuelas de las 15 regiones del país, con 100.000 niños aprendiendo ciencias con esa metódica. En el año 2010 el país sufrió un grave terremoto y el Ministerio de Educación del nuevo gobierno decidió terminar con los convenios con las universidades y redujo drásticamente el presupuesto del proyecto.

En el año 2008 el Ministerio de Educación encargó una evaluación del Proyecto ECBI a un equipo liderado por la Dra. Carmen Montecinos de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, que fue asesorado por tres destacados expertos internacionales: la Profesora Wynne Harlen, del Reino Unido; el Profesor Pierre Léna, Director del programa “*La Main a la Paté*” de Francia; y la Profesora Patricia Rowell, de Canadá. El resultado de esta evaluación fue muy positivo.

Otro resultado importante del programa ECBI de Chile es que sirvió para capacitar grupos en Venezuela, Perú, Bolivia y Panamá, que iniciaron proyectos similares.

El éxito del proyecto chileno motivó al Panel Interacademias a solicitar a la Academia Chilena de Ciencias asumir el liderazgo de este proyecto a nivel mundial, nombrándome Coordinador del Proyecto Global. También, entre los años 2007 y 2009, pudimos obtener un proyecto de la OEA para las Américas que me tocó coordinar y que invirtió USD\$ 300.000 en difundir el proyecto ECBI en América Latina (Ref. 9).

Estos vínculos nos permitieron organizar numerosas reuniones y conferencias con los mejores expertos internacionales en Chile.

A pesar del retiro del apoyo del Ministerio de Educación, el Proyecto ECBI de la Universidad de Chile, bajo el liderazgo de Rosa Devés y Pilar Reyes, ha podido mantener, al año 2014, un núcleo pequeño de personas implementando el proyecto en 39 escuelas y recibiendo aportes de las municipalidades, de empresas mineras (Angloamerican) y del Observatorio ALMA. También en la Universidad de la Serena y en la Universidad Austral de Chile, en Valdivia, se pudieron mantener núcleos activos. Algo parecido hizo la Municipalidad de Concepción.

Actualmente estamos en conversaciones con las nuevas autoridades del Ministerio de Educación para reinstalar el proyecto basado en indagación en conjunto con el Ministerio y una red de universidades en numerosas regiones del país. Pensamos que esta metódica de indagación debiera generalizarse en la educación en ciencias en todo el país y en todos los niveles. Sin embargo, el grueso de los esfuerzos, tanto en Chile como en el resto del mundo, se han concentrado en módulos para enseñar ciencias en la educación parvularia y básica, cuando los conceptos científicos pueden ser aprendidos con materiales e instrumentos muy simples y baratos. Además, este énfasis en la educación básica es facilitado por el hecho de que en sus primeros años los niños tienen una curiosidad insaciable que es fácil de aprovechar.

INTRODUCIENDO EL ENFOQUE INDAGATORIO EN LA EDUCACIÓN MEDIA (2012-2014)

La ciencia que deben aprender los adolescentes es más sofisticada y el aprendizaje de los conceptos requiere de instrumental y materiales más complejos y costosos. Además, la adolescencia causa importantes cambios en los intereses de los alumnos de secundaria. Mi admirado amigo, el astrónomo José Maza, lo ha sintetizado en una divertida y acertada frase: “debemos llegar a sus neuronas antes que lleguen las hormonas”. Ciertamente los jóvenes de ambos sexos en edad de adolescencia

pasan por la etapa de descubrir su sexualidad y de asumirla, y su curiosidad tiene distracciones que cuando niños no experimentaban. Otra de las características que presenta la educación en ciencias en la secundaria es que la enseñanza está a cargo de profesores que han sido formados en especialidades disciplinarias: biología, química, física, astronomía y ciencias de la tierra.

Estas diferencias entre la educación primaria y secundaria hacen necesario que el enfoque indagatorio también se modifique, aunque ciertamente su esencia de incentivar a los estudiantes a ser los propios actores en su aprendizaje no sólo debe mantenerse, sino que debe agudizarse. Una de las características de la adolescencia es su profundo deseo de libertad para encontrar su propio camino, generando sus propias preguntas y buscando su propia manera de contestar esas preguntas. Traducido al campo de la educación en ciencias quiere decir que debiéramos tener módulos de aprendizaje que enseñen técnicas de investigación, pero que en una segunda etapa les permitan a los alumnos el uso de esas técnicas para ejecutar pequeños proyectos que contesten preguntas que surgen de su propio interés.

Recientemente hemos realizado un proyecto piloto del uso de la indagación en la enseñanza de la biología molecular y la genómica en los últimos años de educación secundaria.

Aprovechando el hecho de que personalmente tuve la suerte de vivir y conocer lo que considero la edad de oro de la biología molecular, mi laboratorio se dedicó por 30 años a organizar cursos de técnicas de biología molecular para estudiantes de doctorado en América Latina en esta área, organizando entre 1968 y 1998 cerca de 20 cursos. Estos eran cursos teóricos-prácticos en que los profesores eran autoridades mundiales y donde se enseñaban los enfoques experimentales más recientes. Ya en el presente siglo percibimos que la biología molecular y sus aplicaciones biotecnológicas estaban entrando en los currículos de la educación media y que la mayoría de los profesores que tenían que enseñar esos capítulos sufrían serias deficiencias en su formación. Esto lo discutimos en la Red Latinoamericana de Ciencias Biológicas (RELAB), que reúne a biólogos de 15 países y decidimos hacer cursos de desarrollo profesional para profesores de educación secundaria en los que les entregábamos conocimientos teóricos y prácticos sobre aspectos clave de la biología molecular.

Fue así que después del año 2000 iniciamos en RELAB una serie de cursos que se organizaron en Chile (2003) en la Universidad de Chile, luego en Argentina (2004) en la U.B.A. y en San José en la Universidad de Costa Rica. En todos estos cursos RELAB becó a profesores de secundaria de países vecinos y también invitó a participar a conferencistas de otros países. En general, los profesores que se inscribieron en estos cursos los evaluaron muy positivamente. Sin embargo, varios de ellos nos hicieron ver una cierta frustración por no poder exponer a sus alumnos a

una parte muy fundamental del curso universitario: la realización de los experimentos. La razón para esto era que los liceos donde estos profesores trabajaban no tenían el instrumental científico para desarrollar experimentación. Además se carecía de financiamiento para compra de materiales fungibles necesarios para hacer los experimentos. Pero la dificultad más importante era que, en general, la formación de los profesores de ciencias de educación media incluye muy poca experiencia haciendo trabajos experimentales y, por lo tanto, la mayoría tiene dificultades en la planificación y ejecución de protocolos experimentales. Para tratar de encontrar una salida a esta dificultad el Consejo Directivo Regional de RELAB, reunido en Santiago el año 2011, decidió postular a un proyecto a la Fundación Wellcome Trust del Reino Unido en un concurso de proyectos diseñados para difundir las ciencias de la vida a la sociedad. Ese proyecto consistía en organizar cursos de biología molecular en tres países: en México, a cargo de la Universidad Nacional Autónoma de México; y en Costa Rica y en Chile a cargo de la Universidad de Chile. Con los fondos de la Wellcome Trust se financiaban además de algunas becas y gastos de los cursos para profesores de otros países, la compra de tres laboratorios portátiles, que consistían en los instrumentos científicos necesarios para realizar todos los experimentos del curso.

El año 2012 se aprobó este proyecto y se organizaron los cursos, con idéntico programa en los tres países. A los profesores que habían aprobado estos cursos se les ofreció la opción de solicitar la visita del laboratorio portátil a sus respectivos liceos.

Un aspecto importante es que en el curso teórico-práctico no se incluyeron los temas que generalmente cubre la biología molecular, sino que este se centró, en su módulo teórico, en la historia y los personajes que hicieron los descubrimientos claves, con el fin de generar cuatro conceptos fundamentales de esa ciencia, que son los siguientes:

1. La información genética de las especies y de los individuos está codificada en la secuencia de las bases nucleotídicas del ADN contenido en sus células.

2. Todas las células de un organismo pluricelular tienen el total de la información genética necesaria para hacer un organismo entero, sin embargo, las diferentes células expresan solo algunos genes que les permiten cumplir con su función específica en el organismo. Eso significa que hay mecanismos que encienden y apagan genes y regulan su expresión.

3. El mecanismo que traduce la información genética escrita en el ADN para generar las proteínas, que son macromoléculas compuestas por 20 diferentes tipos de aminoácidos, es casi universal para todos los organismos vivos. Este descubrimiento significa que cualquier célula viva podrá leer correctamente el mensaje contenido en un gen de otra especie. Este concepto nos dice que la ingeniería genética es posible.

4. La evolución de las especies que, como postuló Darwin, ocurre por selección natural de las variantes más aptas, se puede estudiar a nivel de las moléculas de los genes y sus productos, las proteínas, mirando sus secuencias de nucleótidos o aminoácidos y comparándolas con genes que cumplen funciones similares en otras especies. Cuanto más cercanas sean las especies en el proceso evolutivo, menos mutaciones van a diferenciar las secuencias de los genes o proteínas que cumplen las funciones similares. Por lo tanto, haciendo genómica comparativa podemos construir un árbol filogenético de las especies.

Para cada uno de estos conceptos se diseñaron clases teóricas y prácticas experimentales que nos dicen cómo se llegó a establecer su validez y lo que esto significa. Para la parte de genómica comparada se usa un computador conectado a internet que entra gratis a los enormes bancos de datos de los genomas y en segundos puede encontrar las secuencias de toda una familia de genes relacionados.

PROYECTOS ANÁLOGOS EN ESTADOS UNIDOS Y LABORENCARGADA A ESTUDIANTES DE DOCTORADO

En febrero del 2012, cuando recién habíamos recibido la noticia de que nuestro proyecto había sido aprobado por la Wellcome Trust, pero todavía no lo implementábamos, fui invitado a participar en la Asamblea General de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), que reúne a científicos de Estados Unidos y Canadá, y que ese año se reunió en Vancouver, Canadá. La reunión tenía una sesión dedicada a la educación en ciencia en la que coincidimos los mismos tres expositores que habíamos hablado en la Conferencia de Tokio, doce años antes: Bruce Alberts, Pierre Léna y yo. Les conté sobre el desarrollo del Programa ECBI en América Latina y al final les presenté nuestra idea de laboratorios portátiles para introducir la experimentación en el aprendizaje de ciencias en la educación secundaria. Al terminar la sesión, una pareja formada por Karen y Tim Spuck, provenientes del estado de Pensilvania, Estados Unidos, se me aproximaron y me entregaron lo que para mí fue información clave. Karen Spuck me contó que ella trabajaba en la pequeña Universidad de Clarion como directora del programa “*Science in Motion*” (“Ciencia en movimiento”), que llevaba 10 años de implementación en Pensilvania y que era muy similar a nuestra idea de laboratorios portátiles, pero que en ese estado contaba con una red de 12 universidades que recibían del Estado equipo científico que podría ser solicitado por escuelas primarias o liceos secundarios públicos a las universidades, que lo enviaban a los establecimientos educacionales acompañados de un profesor de educación media que estaba capacitado para montar diferentes experimentos con

los alumnos. El instrumental disponible en el programa “*Science in Motion*” cubría todas las ciencias experimentales (biología, física, química y astronomía) y había sido evaluado muy positivamente por su impacto en el aprendizaje de los alumnos de educación secundaria. Sin embargo, tenía que luchar anualmente para que la ley del presupuesto del Estado no introdujera serios recortes. Esta información fue valiosísima, pues nos decía que el esquema que habíamos diseñado podía funcionar, que podía ser expandido a todas las ciencias experimentales y que estaba basado en una red de 12 universidades (Ref. 10). El marido de Karen, Timothy Spuck, era también un profesor de secundaria en astronomía, que había sido elegido por la National Science Foundation por la excelencia de su labor docente como un Becario Einstein e invitado a trabajar en la NSF evaluando el programa GK-12 de becas de postgrado en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Ese programa, que llevaba en ese momento 11 años de implementación, otorgaba becas a estudiantes de Magíster y Doctorado con un estipendio levemente mayor al de otras becas de la misma Agencia, pero requería que el estudiante becario dedicara una parte significativa de su tiempo a colaborar con la educación en ciencias en los niveles preuniversitarios. Esto me pareció una propuesta muy interesante para aplicar en Chile e inmediatamente se me ocurrió la idea de usar a estudiantes de postgrado para acompañar las visitas de los laboratorios portátiles. Justo después de regresar a Chile me puse en contacto con Dinah Arnett, de la Embajada de Estados Unidos, y le hice ver el interés que tenía para nosotros la posibilidad de traer a estos dos profesores de Estados Unidos. Nos comprometimos a organizar actividades para ellos en Santiago, Valparaíso, La Serena y Concepción en una visita de 10 días. La venida de estos esposos fue financiada por la Fundación Allende Connelly en los gastos que no cubrían pasajes aéreos y pago de hoteles.

Como resultado de esta visita y de una entrevista con Denise Saint Jean, Directora de Becas de Conicyt, todas las nuevas becas de doctorado que Conicyt entrega para programas realizados en nuestro país a partir del 2013 requieren como “retribución” que estos becarios le dediquen un cierto número de horas a actividades de educación en el nivel preuniversitario. Además, el ejemplo del proyecto “*Science in Motion*” de Pensilvania nos ratificó que nuestra propuesta estaba bien fundada. La decisión de Conicyt de requerir a sus becarios que colaboraran en proyectos de educación preuniversitaria fue muy útil, pues nos resolvió el problema sobre quiénes debían acompañar los laboratorios portátiles.

Hemos, en los dos últimos años, perfeccionado el curso y hemos probado en los tres países cómo funciona el esquema de los laboratorios portátiles y cómo reaccionan los jóvenes que han tenido la oportunidad de experimentar su uso.

En general la respuesta ha sido muy positiva tanto entre los estudiantes de educación media como entre sus profesores y los estudiantes de doctorado, en este caso, chilenos, que han acompañado a los laboratorios portátiles.

Al final de la visita del laboratorio portátil, en todos los liceos insistimos en hacer una encuesta, que hasta ahora ha recogido más de 350 respuestas. La inmensa mayoría de estos alumnos declara que hacer los experimentos les ayudó mucho a entender los conceptos y a ver las tremendas potencialidades de técnicas como la ingeniería genética. Un porcentaje también importante dice que antes de hacer los experimentos creía que la ciencia era rutinaria y aburrida y que ahora la encuentra entretenida y desafiante. Muchos alumnos nos dicen que la iniciativa de los laboratorios portátiles les hizo reconsiderar lo que ellos habían elegido como carreras universitarias. Por su parte, los profesores de estos jóvenes nos transmiten que han notado un claro cambio en sus estudiantes después de la visita del laboratorio. Ahora hablan con frecuencia de lo que encuentran en la prensa o en la televisión sobre avances en biotecnología. Hay varios que han iniciado pequeños proyectos científicos y que quieren participar en ferias.

Un ejercicio que hemos hecho en Chile ha consistido en invitar a los estudiantes que tuvieron esta experiencia a escribir un breve ensayo, contestando las preguntas: ¿Cuál de los experimentos del laboratorio portátil le pareció más interesante y por qué? También pedimos que nos relaten cómo usarían esta técnica para tratar de resolver un problema que a ellos les preocupa sobre su entorno. Un 10% de los estudiantes participaron en el concurso el año pasado y con el jurado integrado por científicos y estudiantes de doctorado nos sorprendimos gratamente con la calidad de los ensayos y el hecho de que sus autores hubieran reflexionado sobre posibles usos de la biotecnología.

Establecimiento: *Liceo de Aplicación*

Nombre: *Víctor S. Valdés Sidgmann*

Ensayo Ganador

Curso: *Tercer Año E*

Experiencia científica

La experiencia de aplicar los conocimientos sabidos mediante un experimento genera una gran motivación por seguir estudiando las ciencias. El aprendizaje es mejor incorporado y digerido, la idea de creernos científicos e imaginarnos en el futuro como uno, crea un sentimiento de amor y admiración hacia con las ciencias. Haber pasado por la vivencia de estos laboratorios portátiles es algo que nunca se olvidará y quedará en la memoria por siempre.

El experimento de Transformación Bacteriana me llamó mucho la atención por sobre los otros porque nunca en mi vida me imaginé poder algún día manipular bacterias sin estar estudiando en una universidad. Esto me hizo pensar todas las cosas posibles que podría uno hacer con la biotecnología, como cultivar enzimas en bacterias como la lactasa para el caso de los intolerantes a la lactosa, que se ven afectados por la ausencia de esta enzima; convertir bacterias normales en autótrofas para que puedan hacer fotosíntesis y disminuir la huella de carbono; cosechar agentes fertilizantes o adaptar bacterias para disminuir la desertificación y que apoyen al proceso de edafización del suelo.

Me gustaría hacer un proyecto de investigación para buscar sustancias combustibles que puedan ser sintetizadas por bacterias para reemplazar los combustibles fósiles. Podría descubrir quizás alguna sustancia nueva o producir alguno de los combustibles alternativos que ya existen, así se podría disminuir la huella de carbono y por ser de bajo costo podría ser accesible para las naciones, y por ende a la población. Además sería sustentable, ya que al ser cultivado por medio de bacterias no hay un límite de producto, ya que se produciría constantemente, sería renovable. Se podría entonces reemplazar en su totalidad el uso de combustibles de alto índice contaminante por otros de menor índice, y más económicos, pero lo más importante, amigables con el medio ambiente.

Las opiniones de los estudiantes de postgrado también fueron muy positivas. Todos ellos encontraron la experiencia de visitar los liceos y trabajar con los estudiantes de enseñanza media, guiándolos en los experimentos, muy enriquecedora. Varios nos dicen que en estos contactos aprendieron algo esencial para su futuro desempeño como investigadores científicos: cómo comunicar a personas que no conocen la terminología científica por qué lo que ellos investigan en sus tesis es relevante y por qué la sociedad chilena debiera invertir en buscar la respuesta a la pregunta que ellos se han planteado. Además, los estudiantes de doctorado nos hicieron útiles sugerencias como, por ejemplo, dar más tiempo a la discusión de los resultados y a la interpretación de los experimentos durante la visita a los laboratorios. En la página web www.laboratoriosportatiles.cl hemos recogido el detalle de las experiencias y opiniones entregadas después de visitar 15 liceos en la Región Metropolitana y el Liceo Capitán Ignacio Carrera Pinto de San Carlos, Octava Región.

Una muestra del interés que han demostrado los estudiantes por esta experiencia la vemos en hechos que nos ha tocado vivir en dos liceos emblemáticos de Santiago. El año 2013 se produjeron numerosas “tomas” de liceos municipales de Santiago y otras partes del país, como protesta por el poco avance que se había conseguido en dar respuesta a las demandas estudiantiles de mejorar la calidad de la educación y su equidad y poner fin al lucro. Cuando en el INBA se votó la toma se vio que esa

semana se tenía programada la visita del laboratorio portátil de biología molecular y un estudiante de cuarto medio hizo ver este caso, diciendo que esta visita iba precisamente en la dirección de mejorar la calidad de la educación. Ante esto, se consultó cuándo terminaba la visita y los experimentos programados. La respuesta fue que esto terminaba a las 13 horas del viernes. La Asamblea entonces acordó que la “toma” se iniciaba a las 13 horas del viernes para no interferir con esta actividad. En el Instituto Nacional, el año 2013, tuvimos una muy exitosa visita y según la excelente Profesora María Jesús Barrientos, esta experiencia impactó mucho a los estudiantes. El año 2014 definimos, junto con la Municipalidad de Santiago, qué liceos de esa comuna recibirían capacitación de profesores y, por lo tanto, las visitas de los laboratorios. El criterio de la Municipalidad fue que en este segundo año de este Programa Piloto la actividad se realizará en liceos que no habían recibido el laboratorio portátil el año 2013. Nosotros respetamos esa decisión. Sin embargo, los estudiantes del IN que estaban en tercero medio el 2013 conocieron del gran entusiasmo que sus compañeros de cuarto demostraron con la experiencia y fueron donde su profesora a preguntarle cuándo llegaría el laboratorio portátil el año 2014. Ante la respuesta de la profesora, que les explicó que el laboratorio no visitaría al Instituto Nacional este año, los estudiantes no quisieron aceptar esta decisión y fueron a hablar con el rector solicitando que él convenciera a la alcaldesa de poner los recursos (\$550.000) para permitir la visita. Esas fueron semanas convulsionadas en el IN, que finalmente resultaron en el remplazo del rector y varios otros problemas. Sin embargo, los estudiantes persistían en su deseo de tener la experiencia de hacer los experimentos con el laboratorio portátil y preguntaron a su profesora cuánto dinero era necesario. Cuando ella les dijo el monto, la decisión de los jóvenes fue que ellos podrían juntar una buena parte del dinero necesario. Efectivamente, el grupo de estudiantes (30 de ellos) lograron juntar la mitad de los fondos que correspondían al costo de los materiales necesarios para hacer los experimentos. Cuando la profesora me informó de este notable hecho, obviamente le dijimos que esa demostración de interés era magnífica y que la Fundación Allende Connolly pondría el resto de los fondos. Así pudimos incluir este año nuevamente al Instituto Nacional entre los liceos visitados. El día que terminaron sus experimentos estuve con ellos y les agradecí su interés y apoyo, que fue sin duda emocionante.

El año 2015 tenemos el compromiso de Brasil y Panamá de iniciar el uso de los laboratorios portátiles para enseñar biología molecular y genómica a los alumnos de secundaria. Ya tendremos seis países latinoamericanos usando esta innovación. En Chile estamos tratando de ampliar la cobertura nacional, involucrando a más universidades en las otras regiones del país y viendo si el Mineduc puede adquirir más laboratorios portátiles para multiplicar la disponibilidad de esta infraestructura. Hemos calculado que la inversión inicial de cerca de USD\$ 11.000 para comprar

el laboratorio portátil que se le donó a la Universidad de Chile ha permitido, en dos años, que 350 estudiantes de media tengan esta experiencia. Esto implica un gasto de cerca de \$ 19.000 por estudiante, que no es muy diferente al precio de haberles entregado un libro de texto a esos 350 jóvenes. Evidentemente que el actual laboratorio portátil podrá seguir visitando liceos por dos años más y, por lo tanto, el rédito de la inversión será mucho mayor.

Me parece muy justo reconocer que en esta iniciativa hemos tenido mucho apoyo de parte de Rosa Devés, mientras ella se desempeñaba como Prorectora de la Universidad de Chile y de Benjamín Suárez, Director del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Facultad de Medicina. También más directamente he tenido un apoyo de mi esposa, Catherine Connelly, ayudando en la confección del libro de protocolos. También una colaboración indispensable del Dr. Raúl Aguirre en todo el montaje del laboratorio portátil y de soluciones para problemas técnicos y en la instrucción y organización de los estudiantes de doctorado que acompañan las visitas. También debo destacar la generosa colaboración de los académicos que dictan las clases en cursos recurrentes y de Pilar Reyes, que junto con Filomena Vargas han organizado talleres ECBI en los cursos para profesores. Entre los estudiantes de Doctorado debo destacar la decidida ayuda de Sandra Moreira, Paula Bustamante y Camilo Allende.

El éxito de esta experiencia nos dice que sería posible replicarla para poder enseñar mejor otros grandes capítulos de las ciencias biológicas como genética, microbiología, desarrollo embrionario, bioquímica, fisiología celular, ecología y más. Pero obviamente también nos podríamos salir de las ciencias biológicas y cubrir grandes temas de la física, química, astronomía y ciencias de la tierra.

Quiero terminar este relato centrado en la experiencia ganada por un pequeño grupo de científicos que nos fascinamos con la belleza de enseñar ciencias a los niños y jóvenes de nuestro país y de otros países latinoamericanos con un llamado a mis colegas académicos de la Universidad de Chile y de las otras universidades del país. Estoy seguro de que si juntamos ideas, proyectos y recursos vamos a tener éxito en subir el nivel de la educación en Chile y si lo hacemos especialmente trabajando con los docentes, las escuelas y liceos de la educación pública vamos a mejorar mucho la equidad de nuestro sistema educacional. Esta labor nos permitirá darnos cuenta que iluminar es mucho más importante que brillar.

REFERENCIAS

- Ref. 1: Bacon, Francis (1597). *"Meditationes Sacrae"* Quotes net.
- Ref. 2: The Commission on Excellence in Education (1983). *"A Nation At Risk: The Imperative For Educational Reform"*. Washington D.C.
- Ref. 4: Charpak G., Léna P., Queré Y. (2005). *"Le'Enfant et la Science. L'Aventure de la Main a la Pate"*. Odile Jacob, 15, Rue Soufflot, 75005, París, Octobre 2005- ISBN2-7381-1684-1.
- Ref. 5: Allende, Jorge E.; Ureta, Tito (Editores) (1993). *"Análisis y proyecciones de la ciencia chilena"*. Academia Chilena de Ciencias, Almirante Montt 454, Santiago de Chile, (1993), Inscripción N° 78953.
- Ref. 6: De Meis, Leopoldo (1998). *"Ciencia e Educação: o Conflicto Humano-Tecnológico"*. Editado por el autor. Río de Janeiro, 1998.
- Ref. 7: Pontificia Academia Scientiarum (2002). *"The Challenges for Science Education for the Twenty-First Century"*. Vatican City 2002. ISBN 88-7761-080-8.
- Ref. 8: Léna, Pierre (2013). *"Enseigner, c'est espérer : plaidoyer pour l'école de demain. Collection: Essais-Les défis de l'éducation"*. Broché, 224 páginas. París 2013. Edition Le Pommier, ISBN:97827465062751.
- Ref. 9. Allende, Jorge (2008): *"Academies Active in Education Science"*, 2008: 321:1133.