

Para Que Ensinar Física em Países Subdesenvolvidos?

Conferência. de

CLÁUDIO GONZALEZ

Universidade do Chile, Santiago

Antes que nada, me gustaría aclarar que considero que dar una respuesta seria y bien fundamentada a la pregunta que da el nombre a este trabajo es un asunto demasiado complejo para que lo aborde una sola persona. Por lo tanto, lo que sigue debe tomarse exclusivamente como lo que es: un análisis muy personal y tal vez un poco superficial, destinado más que nada a servir de motivación para fomentar una amplia discusión sobre este tema, cuya importancia, relevancia y actualidad considero cruciales.

Es un hecho sobradamente conocido que la recesión económica mundial está afectando en forma seria a la ciencia básica en todos los países, incluso en los más desarrollados. En períodos de estrechez económica, resulta fácil para cualquier gobierno justificar la reducción de los fondos que se asignan a las ciencias, cuya utilidad no siempre es bien comprendida. En los países desarrollados, esta reducción obliga a efectuar un nuevo planteamiento de las áreas en que se desea realizar investigación científica y lleva aparejada una pérdida de personal calificado, principalmente entre las generaciones más jóvenes, que buscan campos ocupacionales con mejores expectativas. Muchos científicos emigran hacia la educación, tanto a nivel secundario como universitario, lo que, al menos en teoría, puede llevar aparejado un mejoramiento de la enseñanza de las ciencias.

La situación es muchísimo más grave en los países a los que se suele llamar "en vías de desarrollo" por no llamarlos "subdesarrollados", ya que no hay en ellos comunidades científicas fuertes. En ellos, una fuerte reducción del ya escaso presupuesto destinado a las ciencias puede significar la virtual desaparición de sus incipientes comunidades científicas, lo que además produce un desmejoramiento importante de la no siempre buena enseñanza de las ciencias. Como veremos, esto afecta negativamente las expectativas que pueda tener el país por salir de su estado de subdesarrollo, con efectos a plazos mucho más largos que la duración normal de los gobiernos que toman estas medidas. Debería ser nuestra obligación intentar impedir que se cometan errores que puede costar varias décadas rectificar; pero no estaremos en situación de hacerlo si antes no nos hemos preocupado de analizar a fondo estos problemas.

Los que tenemos a la física como profesión estamos demasiado acostumbrados a pensar que esta ciencia tiene un papel importante que desempeñar en cualquier sociedad moderna. A causa de ello, rara vez nos detenemos a pensar qué importancia puede tener el estudio de la física para esa gran mayoría de personas que no van a ser físicos profesionales y que probablemente tampoco van a necesitar en forma directa a la física en el desempeño de sus actividades. Como, frente a ellos, somos una ínfima minoría, deberíamos estar en condiciones de poder proporcionar muy buenas razones que justifiquen que en nuestros países se enseñe y se haga física. Así podremos diseñar cursos de física que sean realmente útiles para esa gran mayoría y que, por lo tanto, contribuyan al bienestar de nuestros países.

Talvez un buen punto de partida para tratar de responder a la pregunta "por qué enseñar física en países en desarrollo" sea intentar responder, aunque sea en forma superficial, a la siguiente pregunta previa: "¿por qué hacer física en países en desarrollo?". Hay, por cierto, preguntas que son aún anteriores a ésta, como por ejemplo: ¿por

qué hacer física ? o incluso ¿por qué hacer ciencia ? Sin embargo, partiré del supuesto que los numerosísimos artículos, libros y manuales que se han publicado en todo el mundo y que tratan directa o indirectamente estas preguntas hacen que sea innecesario volver a analizarlas aquí.

POR QUÉ HACER FÍSICA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Todos los países que se consideran desarrollados cuentan con verdaderas comunidades científicas, entendiendo por tales a grupos de científicos que son capaces de realizar con absoluta autonomía investigaciones fundamentales de alto nivel y de formar nuevas generaciones de científicos altamente calificados que prosigan con esta labor. La formación de comunidades científicas es el resultado del fuerte impulso que han dado esos países a la investigación científica en general y a la investigación en física en particular.

Hay quienes sostienen que la importancia de la investigación científica reside en que dicha investigación es la fuente de la que surgen aplicaciones tecnológicas, que pueden resultar vitales para el desarrollo global de un país. Sin embargo, la investigación fundamental rara vez tiene repercusiones tecnológicas inmediatas de alguna importancia. Por ello, para las autoridades de la mayor parte de los países en desarrollo resulta paradójal que se inviertan cuantiosas sumas de dinero en fomentar la realización de trabajos cuya aplicación práctica es la mayor parte de las veces inexistente o muy remota. Basándose en esto, consideran que el financiamiento del trabajo de un grupo de físicos cuyas realizaciones sólo contribuyen, de manera muchas veces modesta, al avance general de la física, es un lujo que los países en desarrollo no están en situación de darse. De aquí surge la opinión, bastante generalizada, de que si se considera conveniente hacer investigación científica en un país en desarrollo, sólo debe financiarse la investigación aplicada, que contribuya de manera directa a so-

lucionar problemas tecnológicos urgentes del país.

Esta es una posición extremadamente simplista, que ha perjudicado enormemente las posibilidades de desarrollo de los países del tercer mundo. La inter-relación entre la ciencia y la tecnología es muchísimo más compleja, ya que muchas veces se obtienen avances científicos a partir de innovaciones tecnológicas y viceversa. De ser realistas, debemos aceptar que ciencia y tecnología son dos campos complementarios que se nutren el uno al otro. Por lo tanto, la importancia de la investigación científica no debe buscarse en sus aplicaciones técnicas inmediatas.

Lo que sí puede afirmarse con certeza es que la investigación científica desempeña un papel sumamente importante en el desarrollo de la educación de un país. Esta influencia es obvia en el caso de la educación científica propiamente tal. Para formar buenos científicos, es imprescindible la existencia de grupos que realicen investigación científica de alto nivel, ya que sólo así se consigue que los profesionales que se encargan de la enseñanza de las ciencias se mantengan permanentemente al día en sus conocimientos. No es por cierto una coincidencia que las universidades que imparten los mejores cursos de ciencias en el mundo sean precisamente las que cuentan con los mejores grupos de investigación en esas ciencias. En campos que progresan tan rápidamente como lo hacen las ciencias, un profesional que sólo se dedique a la enseñanza quedará obsoleto en un plazo muy breve, talvez antes de cinco años.

Tampoco es una coincidencia que los países que cuentan con buenos grupos de investigación en alguna de las ciencias sean también los que muestran un mayor grado de desarrollo en las tecnologías asociadas con dicha ciencia. El ejemplo de las ciencias biológicas es sumamente significativo. Aquellos países en que se realiza investigación fundamental de alto nivel en ciencias biológicas son también los que cuentan con las mejores escuelas de medicina. Los médicos, matronas, enfermeras y tecnólogos médicos formados

en dichos países son, por regla general, muchísimo mejor preparados que los que se forman en países en que no se realiza investigación en ciencias biológicas. La razón es obvia: la formación de profesionales que sean realmente *creativos* (en lugar de ser meramente *repetitivos*) sólo puede lograrse sobre una base sólida en las ciencias básicas relacionadas con la especialidad. Esta base es la que les permite comprender en lugar de memorizar, razonar en lugar de aplicar recetas, continuar aprendiendo y progresando durante toda su vida profesional en lugar de estancarse y vegetar. De acuerdo con lo que se acaba de decir, la investigación científica es indispensable para que se puedan dictar buenos cursos de ciencias básicas; por lo tanto, es un requisito necesario para poder formar profesionales creativos. Y sin contar con un número adecuado de profesionales creativos, un país no puede pretender desarrollar una *tecnología* nativa que le permita buscar soluciones propias a sus problemas locales, por lo que no podrá salir de su estado de subdesarrollo.

En efecto, los sistemas económicos de la mayoría de los países en desarrollo se basan fundamentalmente en la exportación de materias primas. Por ello, deben importar la mayor parte de los productos manufacturados que consumen o, en el mejor de los casos, deben importar las tecnologías necesarias para producir estos bienes. Se produce así una natural dependencia del país de una o más de las grandes potencias, que no sólo abarca aspectos económicos, sino que hasta culturales y recreativos. Además, estas importaciones producen serios desequilibrios de sus balanzas de pago, lo que les impide disponer de los recursos económicos que urgentemente requieren para mejorar las condiciones económicas, culturales y sociales de sus clases más necesitadas.

La solución natural para esta anomalía sería que los países en desarrollo lograran crear una *tecnología* propia, que les permitiera dejar de gastar divisas en importar o producir bienes de consumo. Pero, para crear una *tecnolo-*

gía autóctona, un país necesita contar con profesionales creativos e imaginativos, lo que a su vez requiere de una sólida formación en las ciencias básicas. Como hemos dicho, esta formación sólo pueden proporcionarla personas que desarrollen trabajos de investigación de alto nivel.

La formación básica que reciben los futuros ingenieros, geólogos y técnicos de alto nivel en nuestros países podría mejorarse en forma considerable si en ellos se diera un fuerte impulso a la investigación científica en general y a la investigación en física en particular. Tenemos entonces una primera respuesta a la pregunta de "por qué hacer física en países en desarrollo". Hacer física es una condición necesaria para poder mejorar la formación básica de los profesionales del área tecnológica. A su vez, ésta es una forma de contribuir a desarrollar una tecnología nativa, con lo cual se contribuye directamente al desarrollo global de un país.

Por lo tanto, "hacer física" no es un lujo del cual los países en desarrollo puedan prescindir en períodos de estrechez económica. Todo lo contrario: es una necesidad vital que podría permitirles salir más pronto de su estado de subdesarrollo. Como tal, debería tener un lugar prioritario en los programas de nuestros gobiernos, que deberían adoptar medidas urgentes para que los pequeños núcleos que realizan investigación científica aumentaran, tanto en calidad como en tamaño. Sólo así nuestros países podrán disponer de profesionales adecuados cuando sus condiciones económicas les permitan desviar recursos hacia planes de expansión en las áreas tecnológicas. Como se necesitan unos cinco años para producir un buen profesional, y otros tantos para crear las condiciones necesarias para poder formarlo, los planes de desarrollo científico deberían preceder en lo menos diez años a los planes de desarrollo tecnológico. De no ser así, el desarrollo tecnológico de un país se verá frenado, si no detenido completamente, por falta de profesionales adecuados. Salvo, por cierto, que el

país disponga de recursos suficientes como para impulsar en forma simultánea el desarrollo de las ciencias y el desarrollo de las tecnologías, lo que talvez sería el ideal, pero muy difícil de conseguir en países en desarrollo.

POR QUÉ ENSEÑAR FÍSICA EM PAISES EN DESARROLLO

Creo haber mostrado que realizar investigación científica en física puede ser un factor que influya de manera significativa en el desarrollo global de un país. A continuación presentaré los motivos que creo que justifican que se deba enseñar física en los países en desarrollo, centrándome de preferencia en el caso de Latinoamérica. Para ello, analizaremos la situación en cuatro niveles diferentes: el nivel secundario (o pre-universitario), el nivel de las carreras universitarias en que la física no es el tema central de los estudios, el nivel de la formación de profesores de física y el nivel de la formación de físicos (investigadores) profesionales. Pienso que el contenido y enfoque de la física que debería ofrecerse en estos cuatro niveles es diferente, lo que implica que la justificación para enseñar física sea también diferente en cada uno de ellos.

1. Por Qué Enseñar Física a Nivel Secundario

Esta es una pregunta que debería tener diferentes respuestas, según cuáles sean las condiciones locales del país (desarrollado o no) que se está considerando. Por desgracia, es demasiado frecuente que olvidemos esto y procedamos como si la pregunta tuviera una única respuesta. Los objetivos, el contenido, la extensión y la profundidad de los cursos de física de nivel secundario de los distintos países son sospechosamente parecidos entre sí, reflejando talvez la influencia mundial de determinados cursos o tendencias que siempre se originan en las grandes potencias.

Hay varios aspectos que parece necesario considerar antes de dar respuesta a esta pregunta, aspectos que en general se descuidan o se ignoran totalmente. Talvez el más

básico sea el conocer la política a largo plazo del país en materias científicas y tecnológicas. Esto se debe a que un curso de física diseñado para contribuir al desarrollo acelerado de la ciencia y de la tecnología tendrá necesariamente características muy diferentes de las de un curso que sólo sirva de complemento a una formación predominantemente humanista.

También es necesario conocer el destino futuro de los alumnos que toman ese curso de física. En muchos países de América Latina, todos los alumnos de secundaria deben tomar el mismo curso obligatorio de física. En promedio, menos del 50% de los que egresan de secundaria logra ingresar a la universidad; menos del 50% de los que ingresan se inscriben en carreras en que la física es necesaria; y menos del 30% de estos últimos logra titularse. En consecuencia, debemos preguntarnos por qué deseamos enseñar física a ese 95% o más de nuestros alumnos para quienes la física no tienen ninguna importancia o utilidad inmediatas obvias. Por cierto, esta pregunta es mucho menos vital en aquellos países que sólo exigen un curso de física a nivel secundario a los alumnos que necesitarán de esta ciencia en sus estudios posteriores.

En aquella mayoría de países latinoamericanos que exigen un mismo curso de física a todos los alumnos de secundaria, la pregunta es entonces: ¿qué puede ofrecer un curso de física a una persona que más adelante se desempeñará como empleado de banco, funcionario administrativo, abogado, economista, sociólogo, ama de casa, alcalde o Presidente de la República?

Entre las llamadas ciencias naturales, la física es la que ha logrado mayores avances en la explicación de la forma en que se comporta el mundo que nos rodea. También es el mejor ejemplo viviente de la forma en que ha progresado el conocimiento humano. Por ello, no resulta exagerado decir que la física tiene una importancia cultural innegable e imposible de ignorar en el mundo actual. Tan "in-

culta" debería considerarse a la persona que no tiene una idea, aunque sea vaga, sobre quiénes fueron Napoleón, Shakespeare y Bach, como aquella que no sabe, aunque sea vagamente, por qué la luna puede girar en torno a la tierra sin un motor que la impulse. Sin embargo, aunque la mayor parte de los adultos se avergonzará y pedirá disculpas cuando muestre que ha olvidado sus conocimientos de historia, literatura o música, muchos se sentirán hasta ligeramente orgullosos de confesar que "nunca entendieron nada" de física. Este es un hecho que demuestra de un modo innegable que nuestros cursos de física de nivel secundario no destacan la importancia cultural de la física, cuando no la ignoran completamente. Si aceptamos que cultura es "lo que queda cuando se olvida todo lo que se aprendió", también muestra que en estos cursos hay tanto énfasis en la memorización de hechos y datos, que no queda lugar para la comprensión. De otro modo no se explica que a la mayor parte de nuestros alumnos no les queda nada cuando olvidan lo poco que aprendieron en sus cursos de física de secundaria (y deliberadamente no dije "lo poco que aprendieron de física" porque considero que lo que aprendieron no es física). Por lo tanto, si deseamos que la física no desaparezca de los programas de las escuelas, debemos preocuparnos de que su estudio contribuya a aumentar en forma considerable la cultura de esa gran mayoría de alumnos que no volverán a estudiar esta ciencia.

El hecho de que la física sea la ciencia que más ha avanzado en la explicación de la forma en que se comporta la naturaleza es otro factor que justifica que la gran masa ciudadana aprenda un poco de física. Esto debería contribuir a que el hombre comprenda mejor el mundo que lo rodea, perdiendo así temores y creencias supersticiosas y llevando así una existencia más plena y productiva. También debería ayudarle a interactuar con la naturaleza de modo de no poner innecesariamente en peligro el bienestar de las generaciones futuras, contribuyendo de paso a su propio bienestar. Una adecuada comprensión de lo que es la física en

particular y de lo que son las ciencias naturales en general ayudaría a los profesionales no científicos que ocupan cargos de importancia a tomar decisiones racionales y bien fundamentadas en materias tan vitales como el desarrollo energético de nuestros países, el empleo de sus recursos naturales y el control de su contaminación ambiental. Basta analizar muy superficialmente los motivos que hacen que un país subdesarrollado compre una planta termonuclear en lugar de emplear energía hidroeléctrica, mirar la forma en que se construyen casas en terrenos laborables, observar el aire de Sao Paulo y de Santiago de Chile, para comprobar que esto no ocurre. Por otro lado, el gran auge experimentado en los últimos años por la astrología, la cartomancia y la quiromancia es una muestra más de que los cursos de física a que sometemos a nuestros alumnos no contribuyen de manera alguna a que comprendan mejor la naturaleza.

Si los cursos de física de la enseñanza secundaria no influyen en el desarrollo cultural de nuestros alumnos y tampoco los ayudan a comprender la naturaleza, podría esperarse que al menos sirvieran de preparación para los cursos más avanzados de física que unos pocos de estos alumnos deberán tomar en la universidad. Desgraciadamente, esto no ocurre en casi ningún país latinoamericano. Problemas que derivan fundamentalmente de los bajos salarios y escasa consideración social de la profesión de profesor secundario, como también de programas excesivamente rígidos y extensos, hacen que la preparación en física que reciben los alumnos que ingresan a las universidades sea muy deficiente en el mejor de los casos, y plagada de errores en el peor. Es demasiado frecuente oír a los que enseñan física en las universidades afirmar que en sus cursos suponen que los alumnos no aprendieron nada de física en las escuelas, o bien quejarse del tiempo que deben perder en re-educar a sus alumnos.

Debería estar claro que opino que es totalmente inadecuado ofrecer a *todos* los alumnos de la enseñanza secundaria un *Único* curso de física cuyo objetivo principal (y

muchas veces único) sea el de impartir conocimientos detallados y específicos sobre una multitud de temas de física; es decir, una verdadera enciclopedia condensada de la física. Tal curso podría talvez tener utilidad para esos pocos que van a estudiar cursos más avanzados de física en la universidad, pero no tiene ninguna utilidad para ese 95% o más que no van a tener ningún otro contacto con la física. Para estos últimos (y probablemente también para los primeros) sería muchísimo más adecuado dar una visión panorámica de lo que es la física, de su importancia cultural, de la forma en que trabaja, del tipo de razonamientos que usa, de la validez y aplicabilidad de sus resultados, de sus relaciones con otras ramas del saber, del origen y significado de sus grandes leyes y principios generales. Una adecuada comprensión del método científico y de la forma en que se utiliza es indudablemente mucho más beneficiosa a largo plazo que la simple memorización mecánica de una colección inconexa de leyes, relaciones, definiciones, fórmulas y datos, utilizados la mayor parte de las veces para resolver problemas numéricos sin importancia ni relevancia alguna. Sería interesante averiguar cuántos alumnos recién egresados de la enseñanza secundaria de toda América Latina se dan cuenta de que la fórmula $v = \sqrt{2gh}$ no es aplicable para calcular la velocidad con que llega al suelo un trozo de granizo que parte del reposo desde una altura de 2 km; y cuántos se darían cuenta de que la velocidad de unos 720 km/h que se obtiene al utilizar esta fórmula es más que suficiente para que el granizo perfora incluso algo tan duro como la cabeza del profesor de física. Más interesante todavía sería comparar estos dos números con el número de alumnos que son capaces de hacer correctamente el cálculo. Talvez esta comparación serviría para mostrar lo que pienso que es una de las mayores fallas de nuestros cursos de física de nivel secundario. Ciertamente es improductivo y hasta cruel obligar al alumno a memorizar cosas que siempre podrá encontrar en libros y tablas cuando las necesite, en lugar de ense-

ñarle dónde buscarlas, qué significan realmente y cuáles son sus limitaciones.

Todos los físicos y profesores de física estamos de acuerdo al opinar que el trabajo en el laboratorio de física podría tener un enorme valor formativo para nuestros alumnos. Si bien no conozco ningún trabajo experimental serio que muestre que esta opinión se basa en algo más que en la intuición, es evidente que el alumno obtiene algo valioso cuando realiza experimentos e incluso cuando observa experimentos realizados por el profesor. Entre las ventajas que se mencionan con más frecuencia se cuentan la visualización (y por lo tanto, una mejor comprensión) de conceptos o fenómenos que son demasiado abstractos para la mente del niño; el desarrollo de habilidades y técnicas experimentales; la utilización correcta de instrumentos, etc. Si esto es importante en los países desarrollados, es doblemente importante en países en desarrollo. En efecto, mientras el niño de países desarrollados dispone de una multitud de juguetes complicados que puede desarmar y estudiar si lo desea y además encuentra en la tienda de la esquina materiales de muy bajo costo que le permiten investigar por su cuenta las cosas que le interesan, el niño de países en desarrollo encuentra muchas dificultades para hacer sus propias investigaciones. No todos conocen la televisión; muy pocos conocen la televisión en colores e incluso hay un número no despreciable que no ha tenido nunca iluminación eléctrica y que nunca ha visto un avión a reacción. Tampoco es despreciable el número de los que, a causa de la situación económica de su grupo familiar, no tienen ni la ocasión, ni el tiempo, ni la tranquilidad ni el dinero como para hacer ellos mismos algunos experimentos sencillos. Para ellos debería ser esencial el observar y realizar experimentos, el tener algún tipo de contacto con el laboratorio. Nuestros cursos de física son tal vez los que mejor se prestan para darles la oportunidad de hacerlo.

En los países latinoamericanos es muy frecuente oír

que se justifica el no realizar experimentos de física a nivel secundario porque "no hay equipos". Esta excusa no es demasiado válida, al menos por dos razones. Primero, porque con un poco de imaginación y buena voluntad, es posible "mostrar" muchas cosas sin ningún equipo. Y segundo, porque si ésta es efectivamente la realidad de nuestros países, todos somos culpables por no dedicarnos a buscar y diseñar experimentos que puedan realizarse con objetos que se encuentran en cualquier parte.

Mucho más válida es la excusa de "falta de tiempo", que también es muy frecuente en nuestros países. La falta de tiempo puede ser dramáticamente real cuando el profesor de física tiene la obligación de cumplir con un programa enciclopédico, que sobrepasa con mucho el tiempo asignado a la física. Aquí también deberíamos sentirnos culpables, por no presionar lo suficiente para que los programas oficiales sean realistas y adaptados a la realidad de nuestros países.

Independientemente de las excusas, lo realmente importante es que muy pocos de nuestros alumnos tienen la oportunidad de experimentar, de "jugar" con la física. Peor aún, muchos de estos pocos se ven obligados a realizar experimentos completamente rutinarios, o a verificar que determinadas leyes o principios no se cumplen en la práctica. Lejos de contribuir a que nuestros alumnos comprendan mejor lo que es la física y la forma en que trabaja, esto puede acostumbrarlos a falsear sus resultados para obtener una buena nota. Difícilmente podría pensarse en un efecto que esté más lejos del espíritu científico.

En mi opinión, hay una serie de muy buenas razones que hacen deseable que toda la población de un país en desarrollo sepa algo de física, algunas de las cuales se han presentado aquí. También se han presentado algunos ejemplos que muestran que no siempre nuestros cursos de física están diseñados para obtener esos beneficios. Aunque resulta como culpar al Ministerio de Educación, en el fondo la culpa de que estos cursos no sean buenos es de nosotros mismos.

Si realmente pensamos que es bueno que todos sepan un poco de física, deberíamos luchar para que los alumnos de secundaria aprendan *física*, y no colecciones de fórmulas.

2. Por Qué Enseñar Física a Futuros Profesionales

Como ya dije al analizar la importancia de hacer física en países en desarrollo, la formación de profesionales creativos requiere de una base firme en ciencias básicas. Sin esta base, el profesional se verá aplastado en pocos años por los avances de su especialidad. Por lo tanto, los cursos de ciencia básica que se ofrecen a futuros profesionales deberían cumplir a lo menos con los dos requisitos siguientes. Primero, proporcionar a éstos los conocimientos necesarios para que puedan comprender a fondo los temas de su especialidad. Y segundo, entregarles métodos y herramientas que les permitan resolver en forma científica los problemas nuevos que se les presenten.

La formación global que reciben muchos profesionales de áreas aplicadas o tecnológicas mejoraría considerablemente si se les impartieran cursos de física de estas características. Los ejemplos más obvios son los de la ingeniería en todas sus ramas, la arquitectura, la geología y muchas de las llamadas carreras técnicas. Menos obvios, pero igualmente importantes, son los casos de la medicina y de la dentística.

Para que un curso de física ofrecido a estos profesionales les proporcione conocimientos que les permitan dominar los temas de su especialidad, parece evidente que su énfasis deba estar puesto en su aspecto formativo y no en el informativo. En otras palabras, no debe tratarse ni de un curso enciclopédico (que trate de cubrir toda la física que se sabe en la actualidad, lo que es un absurdo) ni de un curso que se limite a describir las aplicaciones de la física a la especialidad. Parece tan absurdo obligar a un futuro médico o biólogo que pierda seis meses resolviendo problemas de mecánica para poder llegar a dominar las suti-

lezas del movimiento tridimensional del sólido rígido, como limitarse a describirle las palancas, el flujo de fluidos, el empleo de un termómetro, el uso de un microscopio y el funcionamiento de un equipo de rayos X. Por ello, la selección de temas debe hacerse con sumo cuidado en cada caso particular, tomando en cuenta las necesidades específicas de los futuros profesionales, para permitir así que los profesores de cursos de la especialidad puedan desarrollar las aplicaciones específicas que corresponda apoyándose en los conocimientos adquiridos en el curso de física. Igualmente importante es cautelar que el curso de física resultante tenga unidad estructural, evitando parcelar los conocimientos hasta transformarlos en una sucesión de sub-temas aislados que ni siquiera formen una cadena, lo que por cierto no es física. Para ello, pueden destacarse los grandes temas unificadores de la física, como los conceptos de interacción y de energía por ejemplo. En mi opinión, debemos evitar la tendencia a seguir al pie de la letra algún texto popular, como el de Halliday y Resnick, ya que generalmente son demasiado extensos para el escaso tiempo disponible. Aunque nos resulte menos cómodo, deberíamos darnos el trabajo de diseñar cada curso de manera que a través de él los alumnos alcancen objetivos que sean realmente importantes para su formación profesional específica.

Para que un curso de física prepare a los futuros profesionales para resolver situaciones problemáticas nuevas en forma científica, es necesario que les de la oportunidad de entrenarse para hacerlo. Por ello, los ejercicios de aplicación deben elegirse de modo que lo más importante en ellos sea la utilización de lo que se ha aprendido en la resolución de problemas que sean tan realistas como sea posible; y que a la vez sean relevantes para los alumnos. La resolución de problemas numéricos rutinarios difícilmente cumple con estos requisitos, por lo que deberíamos evitarla en nuestras clases y en las clases auxiliares o de ejercitación. Más importante, deberíamos evitarla en las pruebas

y exámenes, ya que las preguntas que hacemos cuando deseamos calificar a nuestros alumnos son las que forman para ellos el verdadero conjunto de objetivos del curso. Todo lo que podamos haber dicho o hecho en clase tiene una importancia apenas marginal para los alumnos, ya que ellos estudian para aprobar el curso. Como la dura experiencia les ha enseñado a desconfiar de las buenas intenciones de los profesores, pocos son tan ingenuos como para estudiar de acuerdo con lo que les decimos en clase; la mayoría confía más en analizar las preguntas que hicimos el año pasado.

Las mismas precauciones que tomamos al seleccionar los temas de nuestro curso deberíamos tomarlas al elegir las experiencias de laboratorio que lo acompañan. Sería muy raro que los experimentos diseñados para el curso de Berkeley tuvieran los mismos objetivos que deseamos alcanzar en nuestros propios cursos específicos. Tampoco parece sensata la posición de los profesores de física que opinan, por ejemplo, que todo estudiante de física *debe* realizar el experimento de Millikan. Mucho más adecuado sería elegir experimentos que les permitan desarrollar las habilidades que deseamos que desarrollen, para lo cual deberíamos empezar por formularlas en forma explícita. Probablemente todos somos culpables en mayor o menor grado de no haber tomado esta precaución obvia; de no ser así, no habría tantos alumnos que piensan que el laboratorio de física es una pérdida de tiempo.

Es frecuente que las escuelas profesionales ofrezcan a los departamentos de física la oportunidad de contribuir en forma significativa en la formación de sus estudiantes. Pienso que, por no pensar lo suficiente sobre la responsabilidad y el honor que implican este ofrecimiento, muchas veces desperdiciamos esta oportunidad. Al hacerlo, damos la razón a quienes piensan que un ingeniero, un arquitecto o un médico no necesitan para nada un curso de física y a quienes opinan que son los médicos los que deben enseñar física a los médicos, los ingenieros los que deben enseñarse-

la a los ingenieros, etc. Desgraciadamente, tales opiniones pueden ser totalmente válidas si nuestros cursos de física no pasan a ser colecciones interminables de fórmulas, definiciones y leyes que deben memorizarse y de ejercicios numéricos rutinarios que deben resolverse. Tales "cursos de física" no pueden contribuir con nada que sea valioso ni importante a la formación de futuros profesionales, lo que ciertamente explica la insatisfacción de las escuelas respectivas y de nuestros propios alumnos.

3. Por Qué Formar Profesores de Física

Si concordamos en que hay buenas razones para enseñar física a nivel secundario y a nivel de carreras profesionales no relacionadas directamente con la física, la respuesta a esta pregunta es obvia. Debemos formar buenos profesores de física para que dicten los buenos cursos de física que se necesitan. Pero el problema no termina aquí, pues hay que decidir cómo formar profesores que sean capaces de enseñar cursos de las características que se encuentran deseables.

En este asunto hay todo un espectro de opiniones, la mayor parte de las veces tan intuitivas, que bien podrían llamarse prejuicios. En un extremo del espectro, hay quienes piensan que el profesor de física debe tener una formación igual o equivalente a la de un buen investigador en física, incluso para enseñar a nivel secundario. En el otro extremo, se opina que el profesor de física está bien preparado si domina las materias que deberá enseñar, a ese mismo nivel, y nada más. Como ocurre siempre que hay opiniones extremas sobre un tema, probablemente la posición más razonable se encuentre en alguna parte entre estos dos extremos. Por lo que sé sobre la formación de profesores de física en distintos países, rara vez se planifica esta formación en forma racional y los programas de estudio de cada institución resultan las más de las veces de los prejuicios del grupo de personas que esté en ese momento a su cargo.

Por ejemplo, es muy poco frecuente que se empiece por tratar de definir en forma objetiva cuáles son las características que se considera deseable que tenga el futuro profesor de física, para elaborar después un programa de estudios destinado a conseguir que los profesores tengan esas características. Más bien se procede al revés, empezando por especificar las materias que se supone que el profesor debe conocer y los trabajos que debe hacer en el laboratorio, dejando que las características surjan en forma natural. Con frecuencia, estos contenidos están fuertemente condicionados por los intereses particulares de las personas que están a cargo de la planificación. Serán entonces estos intereses los que determinarán el contenido, la profundidad y la orientación de los estudios de los futuros profesores.

Mis propios prejuicios al respecto son los siguientes. Primero, el profesor de física debe saber física. Esta puede parecer una afirmación trivial, pero acontece que tiene diferentes significados para diferentes personas. Para muchos significa que el profesor debe conocer toda la física y dominar a la perfección un complicado aparataje matemático, que le permita resolver sin vacilaciones problemas sofisticados. Para mí significa que el profesor debe comprender a fondo un conjunto equilibrado de temas importantes dentro de la física, que le permita entender y explicar procesos y fenómenos y que le permita además estudiar por su cuenta otros temas de física que pueda necesitar en el futuro. Por cierto, debe ser capaz de resolver problemas de física, pero esto tiene para mí una importancia secundaria frente a la comprensión de la física misma. En otras palabras, debemos evitar enseñarle física en forma tal que los árboles matemáticos le impidan ver el bosque físico.

Mi segundo prejuicio es que el profesor de física debe ser capaz de desempeñarse bien *en* el laboratorio y con el laboratorio. Para mí, estos dos objetivos no sólo no son paralelos, sino que son hasta divergentes y considero

.desafortunado que con frecuencia pongamos el énfasis en lo primero y descuidemos totalmente lo segundo. Pero precisemos primero qué es lo que quiero decir con la afirmación inicial. Desempeñarse bien *en* el laboratorio significa para mí ser capaz de planificar un experimento para estudiar un fenómeno desconocido, tomar buenas mediciones que sean relevantes al fenómeno, interpretar los resultados de estas mediciones elaborando un modelo y poner a prueba la validez de este modelo. Por su parte, desempeñarse bien *con* el laboratorio significa para mí ser capaz de manejar adecuadamente una serie grande de instrumentos de medición, de adaptar instrumentos existentes para medir otro tipo de variables, de diseñar y construir aparatos simples usando materiales fácilmente accesibles, de planificar experimentos simples para mostrarlos a los alumnos o para que éstos los hagan; en fin, de *usar* un laboratorio.

Considero importante que el profesor de física se desempeñe bien *en* el laboratorio porque más adelante deberá dirigir el trabajo de sus propios alumnos. Difícilmente podrá enseñarles a hacer experimentos si él mismo no lo ha ensayado suficientemente. En este sentido, no hay que olvidar que el profesor tiene tendencia a enseñar en la misma forma que le enseñaron a él. Por lo tanto, si se acostumbró a seguir recetas de cocina en el laboratorio, hará que sus alumnos sigan recetas de cocina.

Considero que desempeñarse bien *con* el laboratorio debería ser un objetivo primordial en la formación de profesores en países en desarrollo. Por desgracia, es demasiado frecuente que el futuro profesor de física aprenda a usar razonablemente bien el equipo razonablemente bueno de que dispone su universidad, pero que no sepa hacer nada sin ese equipo u otro similar. Por lo tanto, cuando llegue a su escuela y descubra que prácticamente no hay material de laboratorio, o que hay equipos muy antiguos o muy diferentes a los que él mismo usó, lo más probable es que decida no hacer experimentos en su curso. Por esto, para mí es de vi-

tal importancia que el futuro profesor de física sea capaz de adaptarse a las condiciones que encontrará en su escuela, por precarias que ellas sean.

Un tercer prejuicio que tengo es que el profesor de física debería tener una sólida base de conocimientos sobre materias educacionales. En particular, debería saber suficiente psicología aplicada, tanto del niño como del adolescente. También debería conocer los principales métodos educacionales que se emplean en el mundo y comprender las bases psicológicas en que se fundan. Debería saber formular objetivos, diseñar preguntas y problemas que midan lo que desea medir, evaluar el rendimiento de sus alumnos. Debería ser capaz de planificar estrategias para conseguir que sus alumnos alcancen los objetivos deseados. En fin, debería estar capacitado para desempeñarse como un verdadero *educador*.

Mi cuarto y último prejuicio importante es que el profesor de física no debería quedar abandonado a su suerte después de recibir su título. Todos sabemos que la física progresa con enorme rapidez, por lo que deberíamos proporcionar a los profesores de física la oportunidad de actualizar periódicamente sus conocimientos. También sabemos las numerosas dificultades con que se enfrenta en su labor diaria, por lo que deberíamos estar dispuestos a ofrecerle una mano amiga cada vez que lo solicite. En otras palabras, los departamentos de física de todas nuestras universidades deberían colaborar con él en forma permanente. Esta colaboración puede ser de muy diversas formas. Una bastante obvia es la de ofrecer cursos periódicos que sean de interés para estos profesores. Otra no tan obvia es la de celebrar reuniones periódicas (por ejemplo, mensuales) entre miembros de un departamento de física universitario y profesores de física de escuelas próximas a él. En estas reuniones, los profesores podrían enterarse de lo que se hace en física en el departamento y en el país, plantear sus necesidades y sus dudas, solicitar la ayuda y los materiales que

requieran, etc. Pero, cualquiera que sea la forma de colaboración que los departamentos universitarios de física estén dispuestos a ofrecer a los profesores, lo más importante es que se decidan a tenerles sus puertas permanentemente abiertas.

4. Por Qué Formar Físicos

Al comienzo de este trabajo mostré que la investigación científica es un requisito indispensable para que en un país se pueda impartir enseñanza de primera calidad en esa ciencia, y que esa investigación tiene influencia directa en la formación de profesionales de áreas tecnológicas y aplicadas. Por todo eso, pienso que la investigación científica es una necesidad vital en los países en desarrollo.

Para que pueda realizarse investigación científica, se requiere de la existencia de una verdadera comunidad científica. Si bien la importación de un grupo de científicos extranjeros puede ser una buena manera para iniciar una comunidad científica en un país que no cuenta con científicos propios, su influencia en el desarrollo científico del país será muy pequeña y completamente transitoria, salvo que este grupo se dedique en forma apostólica a la formación de investigadores locales que puedan proseguir su labor. Dicho grupo sólo dejará una huella profunda si sirve de núcleo de condensación, alrededor del cual se concentren los mejores elementos que hay en el país, para dar origen a un grupo local fuerte cuya formación académica sea incluso mejor de la de los que fueron sus maestros. En otras palabras, una comunidad científica sólo influye de manera significativa en el desarrollo de un país si ella es estable. De no ser así, sus investigaciones serían un producto más que el país tendrá que importar de las grandes potencias, por lo que su influencia no tendrá carácter permanente.

Para que una comunidad científica sea estable, sus miembros deben poder trabajar con tranquilidad, sin presiones ni temores; también deben contar con un mínimo de res-

peto y de apreciación por la labor que desarrollan, deben recibir remuneraciones que resulten adecuadas dentro del contexto nacional, etc. Tal vez mucho más importante que todo lo anterior, aunque relacionado con ello, esa comunidad debe ser capaz de autosoportarse, en el sentido de poder formar nuevas generaciones de científicos de primera línea. Por lo tanto, para un país en desarrollo es importante formar físicos, ya que sólo así podrá llegar a formar una comunidad científica estable de físicos.

De todas las consideraciones anteriores, para mí resulta obvio que los físicos que se formen deben ser del más alto nivel que sea dable alcanzar. Esto me parece especialmente importante en los países en desarrollo, ya que los países de economías débiles tratarán de fomentar la realización de investigaciones aplicadas, de relevancia directa con sus problemas tecnológicos e industriales internos. Esta actitud, muy justificable, legítima y razonable, es aceptable sólo si la realización de investigaciones aplicadas se toma como un *medio* para formar una verdadera comunidad científica que colabora activamente en la formación de profesionales creativos, y no si se toma como un *fin* en sí. Para que esto ocurra, es imprescindible que los investigadores a cargo de estos proyectos sean del más alto nivel posible, ya que se requieren un excelente dominio de la ciencia y una imaginación creadora para poder identificar problemas aplicados que puedan atacarse con éxito utilizando los métodos y herramientas de la ciencia pura. Si el grupo no está a cargo de un científico de alto nivel, la norma de trabajo será probablemente la realización de pseudo-investigaciones, rutinarias y sin proyecciones científicas, por lo que el grupo se limitará a vegetar en la mediocridad.

En las etapas iniciales de la formación de una comunidad de físicos, resultará con certeza necesario enviar a muchos de ellos a proseguir estudios avanzados en el extranjero. Los países en desarrollo deben comprender que ésta es una etapa necesaria y estar por lo tanto dispuestos a

aceptar el sacrificio que ella implica por todo el tiempo que se requiera para llegar a tener una comunidad científica estable. Por cierto, la formación de físicos profesionales en un país en desarrollo no puede ser un proceso completamente aleatorio. Aunque es evidente que debe hacerse lo posible por respetar las preferencias individuales de cada posible candidato, no es menos cierto que hay que cautelar los intereses generales del país, para lo cual puede ser indispensable adoptar una serie de líneas directrices y de precauciones que tomen en cuenta estos intereses. Por ejemplo, si los recursos económicos del país son escasos, podrá resultar conveniente desalentar a los físicos incipientes que desean especializarse en campos que requieren de equipos demasiado costosos, a menos de que el país ya los posea; o que precisen de técnicas cuyos gastos de operación sean muy elevados. Si se desea fomentar la realización de investigaciones aplicadas, podrá resultar inconveniente que la gran mayoría de los físicos se especialice en líneas teóricas de alta sofisticación. Por otra parte, si el país cuenta con condiciones locales que no se dan en otros lugares, podría convenir fomentar la especialización en campos cuyo estudio aproveche estas condiciones; algunos ejemplos podrían ser la oceanografía física y la obtención de energía del mar en países que cuentan con litorales extensos. Por cierto, si el país desea desarrollar determinado tipo de industria, convendrá impulsar el estudio de aquellos campos que tengan relación con esa industria; la física del estado sólido en el caso de países que desean establecer industrias electrónicas autóctonas sería un ejemplo. Sin embargo, no debe olvidarse que, cualesquiera que sean las líneas directrices adoptadas, debe procurarse que los físicos que se formen sean del más alto nivel posible, requisito indispensable para lograr una comunidad científica estable.

Desearía aprovechar esta ocasión para destacar una línea de investigación aplicada que se relaciona directamente con el temario de este Simposio y que con frecuencia se ig-

nora o queda relegada a un lugar secundario: la investigación en asuntos educacionales en el campo de la física. Esta es una línea que podría resultar extremadamente provechosa para los países en desarrollo, cuyos problemas educacionales son con frecuencia gravísimos. Sin embargo, rara vez recibe el impulso que se merece, tal vez por culpa de nosotros mismos. Es demasiado frecuente que muchos de los físicos de más alto nivel observen con desconfianza a cualquier colega que dedique esfuerzos serios a solucionar en forma científica algún problema educacional local. En apariencia, para ellos "la enseñanza" es una actividad poco adecuada para un científico, actitud que es completamente justificada si por "enseñanza" entendemos la repetición mecánica de un mismo curso año tras año, ya que cualquier instructor o físico recién graduado puede desempeñar esta labor en forma satisfactoria. Sin embargo, no es justificable menospreciar actividades educacionales que van mucho más allá que esta simple repetición mecánica, actividades que requieren la aplicación sistemática del método científico y que pueden ser intelectualmente tan exigentes como la mejor investigación en física pura. Tal vez un ejemplo ayude a comprender lo que quiero decir.

La mayor parte de los cursos básicos de física que se dictan en nuestras universidades no pasan de ser, en el mejor de los casos, simples adaptaciones de cursos que se dictan en los países desarrollados. En consecuencia, es difícil que sus objetivos se ajusten a los objetivos que se desea alcanzar en cada caso particular; y sus ejemplos de aplicación pueden resultar extraños y hasta incomprensibles para nuestros alumnos. Aunque es muy cierto que la física es una sola, resulta evidente que no hay una receta mágica que permita determinar qué es lo que conviene enseñar y en qué forma es mejor enseñarlo en cada caso particular. *Qué enseñar*, es decir, el contenido de cada curso, debería estar condicionado muy fuertemente por una serie de circunstancias locales, tales como los objetivos generales de la

educación, los objetivos particulares que se desea alcanzar a través del curso (dos cosas que rara vez se formulan en forma explícita), el bagaje de conocimientos previos que tienen o deberían tener los alumnos, el destino de estos alumnos una vez que completen el curso, etc. *Cómo enseñarlo*; es decir, los métodos y estrategias que se utilicen, dependerá de esos mismos factores locales y de otros factores adicionales, tales como la proporción de docentes a alumnos, el equipo disponible, el tiempo asignado al curso, los recursos económicos disponibles, etc. Como si lo anterior no fuera ya suficientemente complicado, todos estos factores cambian a medida que transcurre el tiempo, de modo que lo que hoy puede ser una buena solución bien puede resultar inadecuado mañana.

Si pensamos que estamos dando un buen curso básico de física recitando el libro de Halliday y Resnick, por cierto que el problema no existe. Pero si deseamos que nuestros alumnos obtengan el máximo de provecho de este curso de física, deberemos estar dispuestos a buscar permanentemente "la mejor" solución para cada caso particular, solución que nunca será definitiva ni estática. Esto requiere la realización de experimentos educacionales bien controlados, para lo cual se necesitan un buen conocimiento del método científico, un buen dominio de las materias por enseñar, un profundo conocimiento de los problemas educacionales involucrados y, por sobre todo, una imaginación creadora. Por lo tanto, la búsqueda permanente del "mejor" curso para cada caso particular, si se emprende con suficiente seriedad, es ciertamente un trabajo de investigación en el mejor sentido de este término.

En muchas universidades de países desarrollados y en unas pocas universidades latinoamericanas se está despertando conciencia entre los científicos de que la investigación en asuntos educacionales es un campo de trabajo tan legítimo para un físico como lo son la investigación en física del estado sólido o en teoría de partículas elementales.

Mientras esta actitud no sea adoptada por la mayoría de los departamentos universitarios de física de los países en desarrollo, será difícil que la enseñanza de la física en estos países salga del precario estado en que se encuentra, ya que es precisamente en esos departamentos de física donde está el personal que podría contribuir de manera más eficaz a solucionar los numerosos y gravísimos problemas de la enseñanza de la física. Pero sólo serán unos pocos apóstoles los que estarán dispuestos a poner en peligro sus carreras académicas y sus posibilidades de ascenso dedicándose a actividades que son mal miradas por sus propios colegas. En consecuencia, los cursos básicos de física de nuestras universidades seguirán siendo inadecuados, la formación de profesores de física para la enseñanza secundaria seguirá siendo deficiente, los programas y cursos de Física de nivel secundario seguirán siendo malos, los buenos textos de física locales que se necesitan con urgencia seguirán sin escribir, la gran masa ciudadana continuará teniendo aversión y hasta odio a la física. Todo esto no puede sino retrasar la formación de comunidades estables de físicos en nuestros países, por lo que va en contra de los propios intereses que creen defender aquellos físicos para quienes la "excelencia académica" se mide exclusivamente por el número de trabajos publicados en Physics Review.

CONCLUSIONES

Como toda mi presentación ha sido una exposición de mis ideas y prejuicios personales sobre el tema de la enseñanza de la física en nuestros países, es difícil extraer de ella conclusiones o recomendaciones que sean concretas y de aceptación más o menos general. Debería, sí, resultar evidente que para mí no es fácil justificar los cursos de física que con frecuencia se imparten en las escuelas secundarias y universitarias de nuestros países. Esto no implica de modo alguno que piense que la gran masa ciudadana no debería estudiar física, o que deban suprimirse los cursos de

física que se ofrecen a las carreras profesionales, ni que deberíamos dejar de formar profesores de física y físicos profesionales. Muy por el contrario, creo haber dado algunas buenas razones para que en nuestros países se haga y se enseñe física. Sin embargo, opino que estas razones sólo serían válidas para cursos cualitativa y cuantitativamente diferentes a los que ofrecemos con demasiada frecuencia.

En el aspecto cualitativo, opino que todos los cursos de física que se ofrecen a quienes no van a ser profesionales de la física (incluyendo los cursos de nivel secundario) deberían sacar el énfasis de la memorización para ponerlo en la comprensión. Esta comprensión debería alcanzar a lo que es, hace, pretende y ha alcanzado la física; y también a su importancia cultural y a sus relaciones con otros campos del saber.

En el aspecto cuantitativo, pienso que deberíamos abandonar la absurda creencia de que tales cursos deben abarcar toda la física, ya que ni siquiera los mejores físicos profesionales llegan alguna vez a conocer en forma detallada todo lo que se sabe de física en un momento dado. La selección de temas debe hacerse en cada caso particular de modo de asegurar que el contenido del curso tenga el máximo de relevancia para la mayoría de los que deberán seguirlo, pero cautelando al mismo tiempo que toda la física que se incluya sea de la mejor calidad que sea posible ofrecer a ese nivel.

Pienso que en ningún caso debería dejarse a los alumnos con la impresión de que la física es una ciencia que ya está terminada y completa y que es, por lo tanto, inmutable. Menos deberían creer que lo que han aprendido es todo lo que se puede aprender sobre física; o que los principios, leyes y reglas que estudiaron son aplicables sin restricciones a toda situación particular que puedan imaginar. Igualmente importante considero hacerles comprender que las definiciones que se les dan para muchos conceptos no pasan de ser pseudo-definiciones, necesarias para poder trabajar al

nivel elemental de esos cursos, pero no por eso enteramente correctas.

Implantar cursos de características como las que he propuesto puede presentar numerosos problemas en los países en desarrollo, especialmente a nivel de enseñanza secundaria. Es bien sabido que en nuestros países hay una escasez crónica y aguda de profesores de física de este nivel; Y que muchos de los que se desempeñan como tales no cuentan con una preparación adecuada, ni en lo que atañe a sus conocimientos de física, ni respecto a materias educacionales. Por lo tanto, para poder implantar cursos de estas características se requiere una cuidadosa planificación a corto y a mediano plazo. A corto plazo, porque los nuevos cursos deben tomar en cuenta la realidad educacional local. Y a plazo mediano, porque probablemente será necesario que revisemos a fondo nuestros programas de formación de profesores. Estas son labores en las que por los menos deberían colaborar los departamentos de física de las mejores universidades.

Para mí es claro que en un país en desarrollo no puede sentarse a esperar que las soluciones para sus problemas educacionales lleguen del extranjero, salvo que desee perpetuar su subdesarrollo. Estas soluciones deben provenir desde dentro del mismo país, sin que esto signifique desconocer o ignorar lo que se ha hecho y se hace en otros países. Opino así porque pienso que son los propios físicos y profesores de física de cada país los que deberían estar en mejores condiciones para encontrar soluciones autóctonas a los problemas locales de la enseñanza de la física, tomando debidamente en cuenta las particularidades del medio en que se desenvuelven. Dado que la mayoría de estos profesionales están adscritos a las diferentes universidades de la región, su colaboración sólo se logrará en la medida que los departamentos universitarios de física estimulen y fomenten el desarrollo de actividades educacionales de alto nivel que vayan en beneficio de la enseñanza de la física en el país.

Como dije al iniciar esta presentación, la pregunta "por qué enseñar física en países en desarrollo" es demasiado compleja como para que la responda una sola persona, por lo que nunca tuve la pretensión de hacerlo. Sin embargo, pienso que ventilar mis propias ideas y prejuicios sobre este tema puede resultar útil para que todos pensemos más seriamente y ordenemos nuestras ideas sobre el asunto, ya que éste puede resultar vital para la supervivencia de la física en nuestros países. Me sentiré muy satisfecho si esta charla estimula una fuerte y amplia discusión sobre el asunto, aunque me conformaría con saber que ha servido para provocar inquietud y dudas en muchos de los presentes.