



Rodolfo Llinás

EL RETO:
EDUCACIÓN,
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA


Número 2

CIENCIA AL VIENTO

El reto: educación,
ciencia y tecnología

Rodolfo Llinás

Número 2

Noviembre, 2012

Primera reimpresión: Noviembre, 2014

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional de Colombia

Últimos títulos publicados

3. Mario Bunge, *La filosofía de la investigación científica en los países en desarrollo* (febrero, 2013).
4. Eduardo Laso, *La concepción heredada y los métodos de validación científicos. I* (mayo, 2013).
5. Eduardo Laso, *La concepción heredada y los métodos de validación científicos. II* (agosto, 2013).
6. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace, *Selección natural: tres fragmentos para la historia* (noviembre, 2013).
7. Jesús Mosterín, *La estructura de los conceptos científicos. I* (febrero, 2014).
8. Jesús Mosterín, *La estructura de los conceptos científicos. II* (mayo, 2014).
9. Roger A. Hegstrom y Dilip K. Kondepudi, *La quiralidad del universo* (agosto, 2014).
10. Esther Díaz, *Investigación básica, tecnología y sociedad. Kuhn y Foucault* (noviembre, 2014).

Editorial

Siguiendo con nuestro objetivo de presentar temas científicos y relacionados con el quehacer de la ciencia para que nuestros lectores puedan construir sus propias opiniones al respecto, hemos escogido para este número el texto *El reto: educación, ciencia y tecnología* del profesor Rodolfo Llinás, en el cual el autor hace un análisis del estado de la ciencia en Colombia con respecto a otras naciones y presenta sus recomendaciones para lograr el posicionamiento del país en el panorama científico.

Este texto fue escrito en 1994, lo que hace que las estadísticas presentadas estén desactualizadas. Sin embargo, la situación presentada y las recomendaciones son de sorprendente actualidad.

Agradecemos al Profesor Llinás por permitirnos reproducir su artículo.

Victor Tapia

Esta versión del artículo del Profesor Llinás corresponde a la primera reimpresión. La necesidad de esta reimpresión es evidencia del interés de nuestros lectores por los temas aquí expuestos.

El reto: educación, ciencia y tecnología

Rodolfo Llinás

Introducción

Al escribir un texto introductorio sobre el futuro de la educación, la investigación científica y el desarrollo en Colombia, es conveniente comenzar con un amplio horizonte y un plan a largo plazo. Ello permite delinear una visión y un contexto general donde se enmarquen los problemas de mayor urgencia: ¿Como acelerar y modernizar la educación, el avance científico y tecnológico y la capacidad para el crecimiento económico, bases de la optimización del desarrollo? ¿Como impulsar sosteniblemente la ciencia, la educación y el desarrollo para el bienestar y el progreso democrático de todos los colombianos?

Las condiciones críticas tanto económicas y ecológicas del sistema mundial, las particulares

de Colombia y la realidad de una creciente brecha entre los países desarrollados y subdesarrollados, requieren una redefinición del desarrollo humano y un nuevo énfasis sobre el conocimiento científico y tecnológico en la educación formal.

Este proceso de avance de la ciencia, la tecnología y la educación, supone un nuevo ethos cultural, que supere la pobreza, violencia, injusticia, intolerancia y discriminación que mantienen a Colombia atrasada socioeconómica, política y culturalmente. Colombia actualmente se halla en un umbral histórico crítico: puede superar el ser un país en vías de desarrollo, pero sólo si se empeña colectivamente en cambiar las estructuras del sistema que impide realizar su potencial creativo y civilizador.

Actualmente, el continuo crecimiento económico, la modernización del Estado y los avances geo-económicos, permiten a Colombia la posibilidad de sobrepasar ciertos impedimentos tradicionales del subdesarrollo. Una de las variables más determinantes de este ha sido el rezago en la educación de sus gentes, lo que ha impedido el progreso socio-económico.

En la actualidad, la reestructuración global asume nuevas formas de interdependencia y jerar-

quización de sistemas financieros e informativos. Estas desafían el pasado de muchas culturas con su diferenciación económica y política y con sus valores culturales locales. Múltiples civilizaciones hoy en día se confrontan a nivel mundial, en una competencia intelectual que determina el acceso desigual a recursos, calidad de vida y creatividad. Tales cambios producen actualmente una nueva visión del mundo [1] liderada por avances de la ciencia y la tecnología, así como por innovativos sistemas de educación y de organizaciones socio-económicas.

Hay que recordar, sin embargo, que las recientes crisis sociales y ambientales de los países industrializados demuestran que la productividad económica y los avances del conocimiento humano requieren fundamentación en un contexto civilizatorio, cuyo fin ha de ser el bienestar social y el respeto por la vida. Esta lección importante señala que el desarrollo, como avance económico, político y cultural, debe significar un legado humano de información al servicio de estilos de vida inteligentes y garantes de la creatividad humana para futuras generaciones.

Lo anterior requiere una reestructuración y revolución educativa que genere un nuevo ethos

cultural, el cual permita la maximización de las capacidades intelectuales y organizativas de los colombianos. La manera innovativa de entender y actuar —no el simple saber y hacer debe permitir que se adquieran nuevas habilidades humanas, basadas en el desarrollo de múltiples saberes y talentos, tanto científicos como artísticos y literarios, y de nuevas formas de organización productiva.

Dada esta realidad, ¿qué papel puede desempeñar Colombia en tal transformación global? ¿Está Colombia en condiciones de contribuir en alguna medida a la comunicación intercultural mundial y al avance de la humanidad mediante un nuevo ímpetu civilizador que permita a la vez el óptimo desarrollo de sus gentes para lograr vidas creativas, equitativas y ¿prósperas? Para ello es necesario que Colombia se transforme en un país económica y culturalmente más competitivo y justo, y esto implica incrementar sus niveles de ciencia y tecnología, transformar sus sistemas jurídico, político y económico, pero ante todo reeducar a su gente.

Este nuevo proyecto civilizador supone la implementación de un desarrollo estratégico a largo plazo que promueva la cultura y la economía y que fomente la libertad, igualdad y prosperidad.

El reto. El problema básico

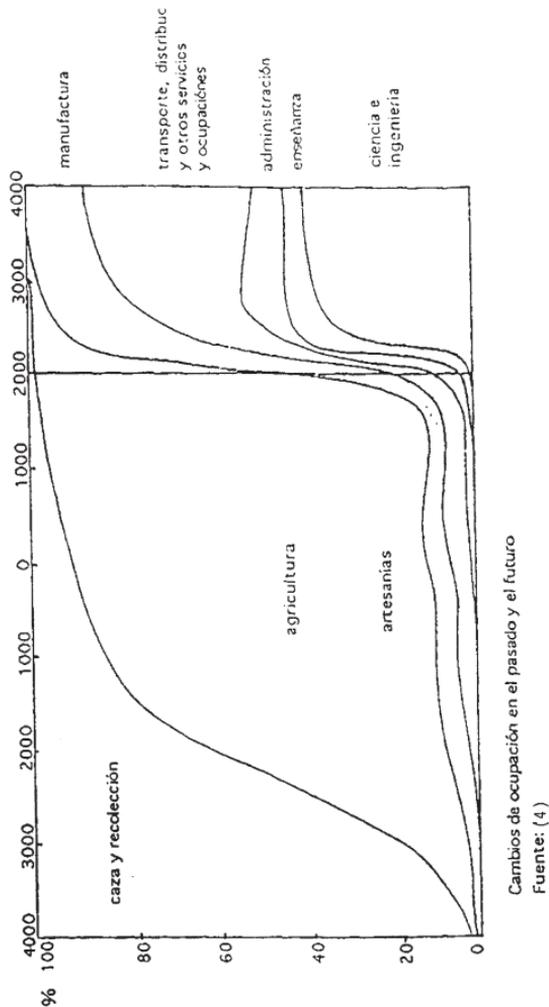
Es claro que si Colombia se propone ser socio del sistema mundial, en el Hemisferio Occidental y en América Latina y el Caribe, enfrenta un reto inmediato. Desde 1990 se han adoptado en nuestro país medidas especiales tendientes a aumentar la inversión pública y privada en investigación y desarrollo, en especial mediante la Ley 29 de 1990 [2]. Sin embargo, nos atañe decidir las metas y estrategias para la implementación de un programa conjunto, donde la ciencia, la tecnología, la educación y el desarrollo evolucionen óptimamente a mediano y a largo plazo.

El problema no es sólo dónde estará Colombia dentro de doscientos o mil años, sino cuál será su recorrido dentro de ese marco temporal y su posicionamiento en el panorama humano e internacional (Cuadro 1). En el futuro, la velocidad, el ritmo de cambio y la calidad de la creación y adquisición de sistemas de información y conocimiento [3] serán, en las economías dominantes, los indicadores determinantes de los distintos niveles de productividad inteligente, mediante los cuales se discriminaran las expresiones de creatividad y bienestar humanos.

Actualmente se está determinando el papel que habrán de desempeñar las diferentes naciones y grupos de interés en la configuración del escenario competitivo mundial en las próximas décadas [4, 5, 6]. En el transcurso de los próximos veinticinco años se determinará qué sectores y naciones serán desarrolladas y competitivamente productivas. Al asumir el problema que nos confronta, nos preguntamos qué campos de la actividad humana y del desempeño económico se pueden promover en Colombia, en relación con la ciencia, la tecnología y la educación, puesto que ellos determinarán el nivel del crecimiento económico y el desarrollo del país.

Colombia requiere un nuevo sistema educativo que fomente habilidades científicas y tecnológicas, así como culturales y socio-económicas. Ello permitiría una reestructuración conceptual y organizativa, una reorientación del imaginario colectivo y la generación de nuevos valores, comportamientos, aptitudes cognitivas y prácticas organizacionales adaptadas al mundo moderno.

El siguiente siglo va a estar determinado en gran medida por los avances de la ciencia y la tecnología y por su difusión y utilización. Las culturas, diferenciadas por sus sistemas particu-



Cuadro 1. cambios de ocupación en el pasado y en el futuro [4].

lares de socialización, sentido de identidad y articulación en el sistema internacional, reconocerán y utilizarán los beneficios de la ciencia y la tecnología y dependerán de ellos de manera diferente.

Colombia reconoce por fin la crisis en que se encuentra su sistema de ciencia, tecnología y educación y busca, como garantía de un futuro mejor, la reestructuración de tales sistemas. Las carencias en capital humano capacitado, sistemas educativos de calidad con amplia cobertura y la inadecuada educación científica para el desarrollo, no permiten actualmente asumir los retos organizativos y culturales del presente y del futuro en Colombia. Esta situación, conjugada con ciertas estructuras internacionales, constituyen serios obstáculos para el desarrollo actual del país.

Sólo una acción directa sobre estos factores hará que Colombia se comprometa en la reorientación de los valores colectivos y las estructuras organizacionales necesarios para una productividad inteligente. De las cuatro áreas: ciencia, tecnología, organizaciones y educación, resulta prioritario actuar de inmediato sobre esta última.

Educación

Situación general

Para abordar el problema de la educación en Colombia es necesario definir inicialmente su actual condición y tamaño. En Colombia la tasa de analfabetismo es del 3 % (sin incluir el analfabetismo funcional). Mientras que la mayoría de los países desarrollados han erradicado el analfabetismo y destinan un mayor porcentaje del PIB a modernizar y extender la cobertura de la educación (Cuadro 2), hay países, como Colombia, que se encuentran rezagados tanto en la calidad como en la cobertura de su sistema educativo formal de primaria, secundaria y educación superior.

Aun cuando las estadísticas actuales indican que Colombia está en un nivel superior al de otros países en vía de desarrollo, el sistema educativo acusa serios problemas que se reflejan en las altas tasas de repitencia, deserción, deficiencia docente y pedagógica, inadecuados materiales e infraestructura, indisciplina y falta de educación para la democracia y la competencia. Se añade la inexistencia de un currículo integrador que estimule la creatividad y fomente las destrezas del aprendizaje, lo que actualmente contribuye al ba-

INVERSIÓN EN EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA - NÚMERO CIENTÍFICOS

PAIS	Educación % PIB	C&T % PIB	US \$ Millón	Científicos-Ing./millón
Canadá	7.40	1.5 (1986)	5,172.79	2,193 (1986)
EEUU	5.30	2.8 (1984)	109,700.08	3,265 (1986)
Japón	5.0	2.8 (1986)	54,550	4,853 (1987)
Ant.URSS	5.20	5.5 (1987)	129,635	5,414 (1987)
América Latina:				
Argentina	1.80	0.4 (1980), 0.80 (1992)*	364.75	652
Brasil	3.40	0.4 (1985), 0.89 (1992)*	869.40	380 (1985)
Chile	5.20	0.5 (1987)	91.00	432 (1987)
Colombia	2.80	0.1 (1982), 0.2 (1987)	42.98	40 (1982), 140 (1994)
Cuba	6.20	0.85 (1990)*	305.65	122 (1989)*
Costa Rica	4.70	1.5 (1986)	10.93	
México	2.80	0.6 (1984), 0.35 (1991)*	949.37	215 (1984)
Venezuela	6.60	0.3 (1985)	188.23	273 (1983)

Cuadro 2. Inversión en educación, ciencia y tecnología — número de científicos.

jo nivel general de la educación, además de la falta de información actualizada y de materiales adecuados.

La baja calidad de la educación formal en los niveles primario y secundario incide negativamente sobre la educación superior, sobre la eficiencia y efectividad del sector productivo, científico y tecnológico y sobre los elementos civilizadores y el desempeño cultural y cívico de la población. El impacto negativo se observa también en la calidad de la fuerza laboral, así como en la falta de valores de solidaridad, convivencia pacífica, respeto por la vida y equidad.

Si bien algunas profesiones de cuello blanco están bien representadas en Colombia y probablemente agrupan la misma proporción (mas no distribución nacional) de profesionales que los países desarrollados, otras áreas de ciencia e ingeniería no tienen análoga representación. Más preocupante aun es el hecho de que la proporción de personas que han recibido educación formal a nivel intermedio se encuentra por debajo del nivel mínimo de exigencia para la ciencia y la tecnología. De igual modo, la educación en ciencia y tecnología es casi inexistente en la educación formal primaria y secundaria, e ineficiente en gran parte de la educación superior.

Alfabetización computacional y educación científica

Lo anterior indica que la posibilidad de que Colombia compita adecuadamente con otros países depende de la realización de un enorme esfuerzo a nivel educativo. Para lograrlo, debemos considerar inicialmente el tamaño de la población que necesita educación. Para elevarle su nivel de competitividad con el resto de las sociedades occidentales, una de las herramientas más importantes de las que disponemos es la instrucción de alta calidad por medios computacionales interactivos, como lo empiezan a hacer los países desarrollados.

Colombia tiene la necesidad de un programa que integre las bases conceptuales para un conocimiento universal. Dicho objetivo lo hemos iniciado con el Proyecto cosmología, el cual impulsará la calidad de la educación a nivel nacional con un avanzado sistema de aprendizaje computacional.

La importancia de utilizar los computadores en la educación radica en los siguientes aspectos:

1. el acceso a materiales de aprendizaje de gran riqueza y creatividad;

2. la posibilidad de usar sistemas interactivos y de redes;
3. la posibilidad de usar informática y programas educativos para avanzar en los procesos de aprendizaje y
4. el acceso por telemática a extensos bancos de datos permanentemente actualizados.

Es importante entender, por ejemplo, que los 8 millones de niños colombianos, si han de competir con éxito en las próximas décadas, tienen que tener la misma educación, si no mejor, que la existente en países más avanzados. Esto es lo mínimo que se puede ofrecer a nuestro país. Es fundamental, por lo tanto, que Colombia invierta en tal metodología. El financiamiento de este programa debe implementarse a nivel nacional y ser estimulado a través de los medios masivos de comunicación. La posibilidad de convertirse en un país de mediano rango en este campo, exige invertir aproximadamente 20 millones de dólares por año, el equivalente al 0.05 % del PIB del país. Sobra decir que los medios computacionales deben— usarse en todos los sistemas modernos de comunicación en el resto de la nación.

El activo más valioso de Colombia es su gente. Su valor está determinado por su nivel educativo, sus aportes culturales y su capacidad científica y tecnológica. Es necesario que Colombia ingrese en el menor lapso posible al nuevo orden científico y tecnológico y que emprenda una revolución civilizadora. El nuevo orden económico mundial está determinado actualmente por el liderazgo en ciencia y tecnología. La superioridad de algunos sistemas educativos, en especial la alfabetización computacional, el entrenamiento en ciencias básicas, matemáticas, química, física y la experiencia en laboratorios, así como el fomento del talento para la innovación, generan un mejor nivel de competitividad para los futuros profesionales en ciencia e ingeniería. El desarrollo de las disciplinas humanas y de los talentos artísticos ofrecerán análogas posibilidades en otros campos del saber y de la expresión humana.

Calidad en la educación

Preparar a la próxima generación de colombianos para asumir posiciones en el mundo moderno y llevar una vida satisfactoria exige la creación de nuevos sistemas educativos. En países desarrollados, además de medidas especiales, tales

como fomento a la inversión extranjera, mejor posicionamiento negociador, inversión estratégica en ciertas áreas y reorganización laboral, han sido la inversión a largo plazo y el mejoramiento de los sistemas formales de educación los que han demostrado ser factores claves en el mejoramiento de la capacidad competitiva, del crecimiento económico y del desarrollo social en general. La alta calidad en la educación es determinante en la preparación de ciudadanos responsables y en la formación académica integral.

La inmediata reestructuración del sistema educativo dará a Colombia la oportunidad óptima para un futuro mejor en un mundo que discriminará a las personas según sus capacidades cognitivas, culturales y organizacionales. Sin un sistema educativo que promueva la autoestima, la dignidad humana, el respeto a la vida y el acceso equitativo a ella, la creatividad y el racionalismo científico y que abra la posibilidad de incorporar nuevas conceptualizaciones, Colombia sacrificará el potencial mental, físico, cultural y científico, así como las riquezas que posee. El patrimonio más importante de los colombianos son sus vidas y sus mentes y la posibilidad de recrear su historia y su memoria; este patrimonio actualmente se

desaprovecha; es necesario encontrar mecanismos que permitan canalizarlo hacia el mejoramiento cuantitativo y cualitativo de la vida en Colombia.

Gran parte del sistema educativo vigente se caracteriza por una enseñanza fragmentada, acrítica, desactualizada e inadecuada, que no permite la integración conceptual, lo cual desmotiva la curiosidad de los estudiantes y desarrolla estructuras cognitivas y de comportamiento inapropiadas. La meta del sistema educativo colombiano debe ser el óptimo desarrollo del saber, la dignidad humana, la solidaridad colectiva, la conciencia social y ecológica tanto global como local. Esto sólo se logra si se transforman las estructuras fundamentales y se suministran elementos que permitan la mejor y más pertinente aplicación del saber, elementos que puedan adaptarse a situaciones reales en continua transformación.

Educación para el desarrollo sostenible

Un importante componente del sistema educativo colombiano será la incorporación de los estándares educativos de los sistemas avanzados occidentales, así como de sistemas de conocimiento regionales, autóctonos e indígenas. En efecto,

un componente original de la nueva educación colombiana será no sólo su avanzado manejo de los campos del saber básicos para formar personas pensantes e informadas a nivel internacional; será necesario, además, su articulación a estructuras educativas locales que no sólo contienen valiosa información para el manejo apropiado de los recursos ambientales, sino que generan las bases de la solidaridad social necesarias para un real desarrollo sostenible.

Colombia es un país pluricultural y multi-étnico que puede utilizar con provecho el acceso de que dispone a los legados occidental, amerindio y afro-americanos, a elementos de las sociedades modernas, premodernas y postmodernas. Esto le permitiría maximizar habilidades de diversas bases culturales para diseñar nuevos sistemas de aprendizaje e incorporar una variedad de orientaciones culturales al dominio del racionalismo científico y de la tecnología contemporánea.

Los objetivos para los próximos cinco años deben incluir la erradicación del analfabetismo y la implementación de educación de alta calidad. Se requiere educación en ciencia y tecnología y los más altos niveles de excelencia académica en primaria y secundaria y en educación superior. Es

necesario garantizar el 100 % de inscripción en la escuela primaria y secundaria y garantizar el acceso a la educación computarizada. El porcentaje del PIB dedicado a la educación debe incrementarse en un 5 % en el próximo gobierno (Cuadro 2). El adecuado funcionamiento del nuevo sistema educativo exige el diseño de mecanismos de evaluación e indicadores de seguimiento que permitan establecer la calidad y condiciones de la educación según normas nacionales e internacionales.

Ciencia

Contexto internacional

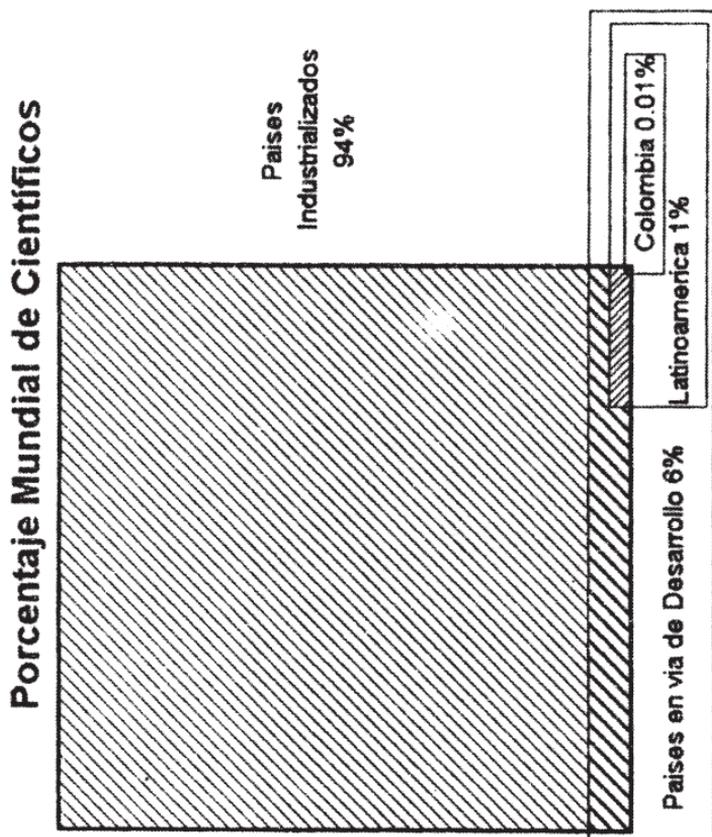
No es una coincidencia que el 94 % del número total de científicos pertenezcan al Primer Mundo. Aun cuando el Tercer Mundo representa el 77 % de la población mundial, sólo contribuye con el 15 % del PIM y posee un mero 6 % de los científicos del mundo [7].

Los países desarrollados, con el 23 % de la población humana, lideran los sistemas de mercado, controlan la generación, transferencia y comercialización de la tecnología y fomentan la innovación científica. Sólo el 1 % de los científicos

del mundo son latinoamericanos, y de estos sólo el 1 % son colombianos (Cuadro 3). Colombia cuenta en la actualidad con 180 científicos por millón, de los cuales la mitad no ha realizado estudios de Maestría o Doctorado [8]. Según las normas internacionales, sólo el 10 % de la suma total estimada calificarían (18 por millón).

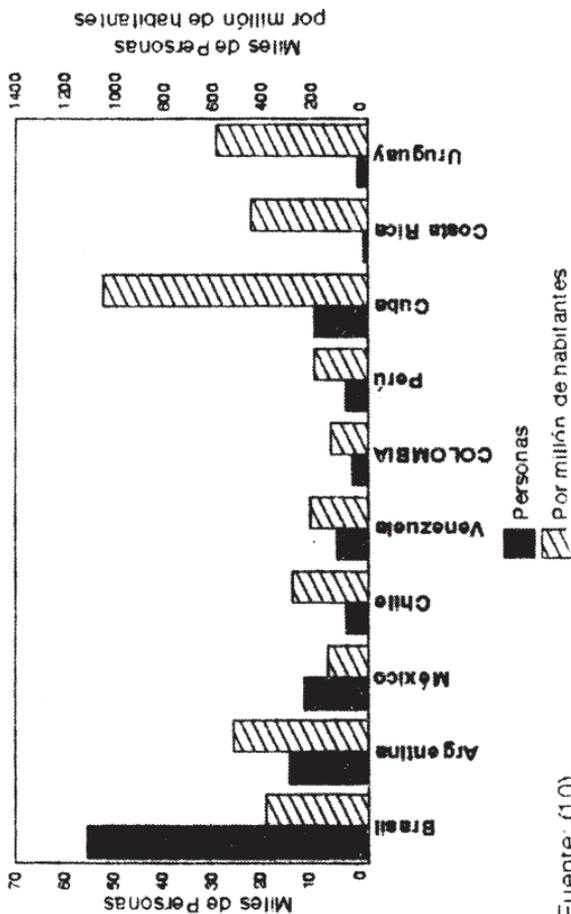
Para un nivel adecuado de competencia, con una población de 36 millones de habitantes, Colombia debería tener en la actualidad al menos 36.000 científicos e ingenieros. Países industrializados como el Japón cuentan entre 3.548 y 4.853 científicos e ingenieros por millón de habitantes, y los Estados Unidos entre 2.685 y 3.265 [9, 14]. América Latina tiene un promedio de 209, aun cuando Brasil, el Cono Sur y México cuentan con un promedio de 400 [10, 11; Cuadro 2, 4].

El problema de la ciencia debe ser abordado en dos niveles: la definición de científico y el tipo de científicos que esperamos y debemos tener en un país como Colombia. En la academia de los países occidentales, un científico es definido como una persona con título en educación superior (Doctorado), varios años de experiencia profesional como investigador entrenado y creativo, un factor de impacto en investigación, cantidad y



Cuadro 3. Porcentaje mundial de científicos.

Personas en Ciencia y Tecnología (1991)



Fuente: (10)

Cuadro 4. Personas en Ciencia y Tecnología (1991).

Puntos Claves de Competencia

	Primer Mundo	Segundo Mundo	Tercer Mundo
PIB/Capita	Alto	Medio	Bajo
Costos mano de obra	Cargos	Medianos	Bajos
Infraestructura	Bien desarrollada	Mejorando	Pobre
Demanda	Saturada	Aumentando	En vías de desarrollo
Tipo	Alto valor agregado intensivo en C&T	Intensivo en capital y tecnología	Intensivo en mano de obra
Ejemplo	Aeronáutica, Farmacéutica, Computadores, Fólónica	Automóviles, Electrodomésticos, Industria del acero	Productos agrícolas, Ensamblaje, Recursos naturales
Tecnología	Alta, derivada de C&T	Transferencia del exterior y automelioría	Transferencia del exterior con ayuda
Puntos claves de Competencia	Innovación	Producción	Educación

Fuente: Modificado de (6)

Cuadro 5. Puntos claves de competencia; modificado de [5]

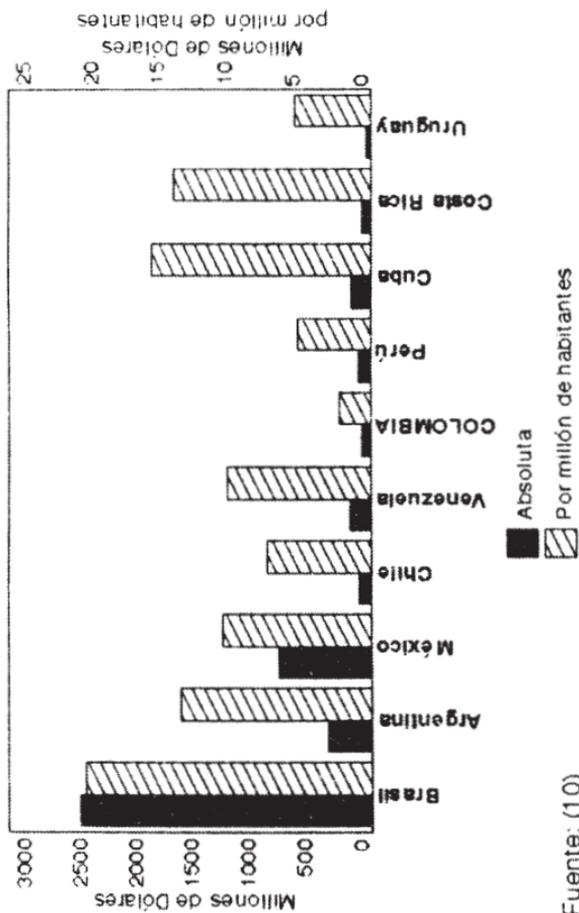
calidad de publicaciones, número de artículos referenciados, membresía en academias científicas y número de patentes.

En los países industrializados, el número de científicos es del orden del 1 por 1.000 [12]. Para tener una masa crítica que impulse el desarrollo, Colombia requiere actualmente cerca de 36.000 científicos e ingenieros altamente especializados y calificados.

Un segundo indicador es el número de artículos científicos producidos en un país (Cuadro 7). En los países industrializados hay 1 por cada 10 millones de dólares de PIB por año. Dado nuestro PIB de 50.000 millones de dólares al año, la producción colombiana debería llegar a un total anual de 5.000 publicaciones de alto nivel para contribuir al avance del conocimiento científico.

El número que actualmente se produce es probablemente dos órdenes de magnitud inferior en ambas categorías; hecho que debe ser inmediatamente subsanado. Actualmente los científicos colombianos sólo publican el 1 % de los artículos científicos producidos en América Latina (Cuadro 7). De las 9.889 publicaciones científicas latinoamericanas [11], que representan el 1 % de las publicaciones científicas mundiales anuales, son

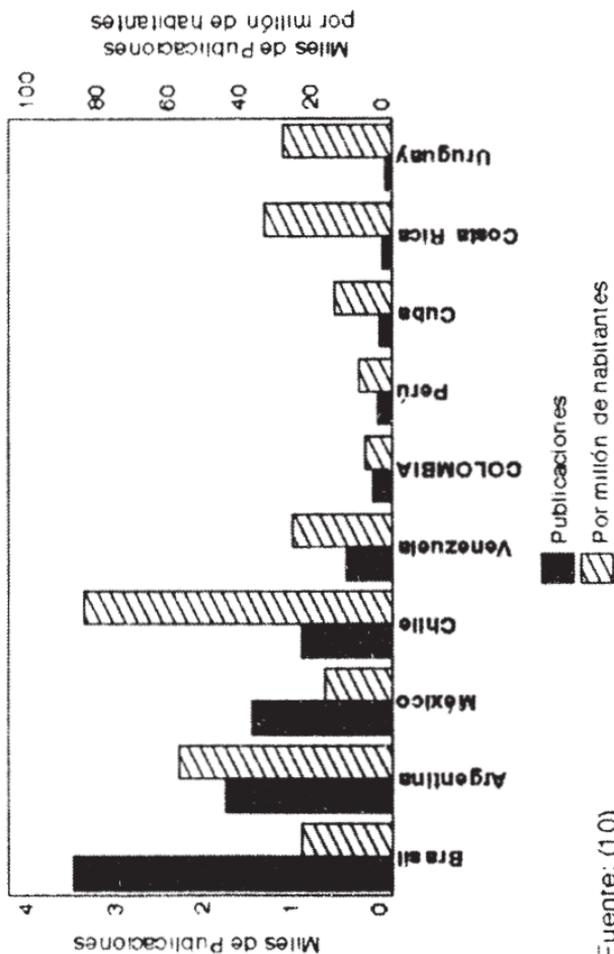
Inversión en Ciencia y Tecnología en Latinoamérica



Fuente: (10)

Cuadro 6. Inversión en Ciencia y Tecnología en Latinoamérica.

Publicaciones Científicas en Latinoamérica (1991)



Fuente: (10)

Cuadro 7. Publicaciones científicas en Latinoamérica (1991).

Brasil, el Cono Sur y México los países que producen la mayor parte de ellas (aproximadamente el 87 %), mientras que los países andinos y otros países centroamericanos y del Caribe hispano sólo llegan al 13 % [11].

Se observa que en países desarrollados o en proceso de superar el subdesarrollo, hay una relación entre mayor cantidad de publicaciones científicas, mayor cantidad y calidad de los científicos e ingenieros, mayor relevancia de la investigación científica y tecnológica en la industria, y mayor porcentaje del PIB dedicado a ciencia y tecnología (Cuadros 2, 4, 6,7).

Al comparar la transformación ocurrida en varios países en vías de desarrollo durante los últimos veinte años, se observa que países que se encontraban en una situación similar a la de Colombia, hoy duplican la tasa de crecimiento de Colombia y han alcanzado un nivel similar a los de las naciones desarrolladas. Estos países impulsaron su desarrollo con un plan concertado a largo plazo, comprometiendo estratégicamente los sistemas políticos y económicos con la inversión en el sistema educativo y en el de ciencia y tecnología, así como con su reconceptualización, para poder alcanzar niveles primermundistas en menos de 25 años.

Esta transformación exigió no sólo una estrategia concertada para el desarrollo y crecimiento económico, sino grandes aumentos en la inversión en investigación científica y desarrollo, inicialmente del 2 al 4 % del PIB, suma que se aproxima a la invertida por los países desarrollados (Cuadro 2). Colombia invierte actualmente menos del 0,4 % de su PIB, suma que debe aumentarse al 2 % en la próxima década.

Por otra parte, habría un problema de análogas proporciones en lo referente a la infraestructura de la ciencia. De hecho, el número de personas vinculadas a la ciencia y a la ingeniería sería mucho más elevado si consideramos la infraestructura científica. Esta se compone de personal técnico que sirve, desde la perspectiva laboral, como interfase entre la ciencia y la sociedad. Tales personas han sido formadas en escuelas y universidades técnicas. Según los estimativos actuales, el número de técnicos medios debería ser de 1 por cada 200 personas; en el caso de Colombia, si quisiera llegar al nivel de países desarrollados, debería ascender a 180.000. Tal cifra incluiría técnicos capaces de apoyar y hacer articulación con una fuerza técnica primaria de 1 millón de personas aproximadamente (1 técnico por cada 6 trabajadores).

Resulta de interés señalar que la misma metodología utilizada para el desarrollo de la educación general, se requiere también para lograr la educación científica y tecnológica de todas las personas. Estudios macroeconómicos en Colombia han demostrado la clara relación que existe entre un capital humano mejor calificado y el crecimiento económico, así como con el mejoramiento de las condiciones del mercado laboral [12]. La inversión en capital humano es costo-efectiva en casos en los cuales la liberalización, internacionalización y modernización de la economía exige una población educada en escuela primaria, secundaria y superior, con mejores ingresos, mayores ahorros, un crecimiento demográfico reducido, inflación controlada, y con más técnicos y científicos de alto nivel que promuevan el desarrollo y la innovación productiva.

Importancia de la ciencia

La ciencia tiene tres usos principales dentro de la sociedad:

1. control de calidad;

2. transformación del conocimiento y educación, e
3. investigación y desarrollo.

Control de calidad

La ciencia ejerce un control de calidad de sus propios productos y —procesos. Las metodologías de cuantificación, análisis, falsibilidad y verificación especiales de la ciencia, son la base de una apropiada utilización de actividades fundadas en el conocimiento [5]. Es ésta la riqueza y habilidad especializada a la que recurren todas las sociedades cuando deben considerar problemas técnicos, nuevos desarrollos, cambios educativos, negociaciones o cambio social. Este control de calidad garantiza el mejoramiento de la calidad de la vida humana y simultáneamente el avance del saber humano.

Transformación del conocimiento y la educación

El segundo uso de la ciencia está relacionado con el científico como traductor y transmisor de

la información científica. En países desarrollados gran parte de la ciencia está fácilmente disponible al considerar el acceso a las revistas científicas y a los ágiles sistemas de información con tecnología avanzada. Este dominio público de la ciencia representa un alto porcentaje de todos los productos científicos, pero se encuentra restringido a los países y grupos capaces de comprender la ciencia y las implicaciones que tales hallazgos tienen para sus propias actividades. Un grupo de esta índole es invaluable y debe ser desarrollado y organizado de tal manera que sus miembros puedan servir de consejeros a todos los niveles de la sociedad, al traducir los datos científicos en conocimiento útil. Estos mismos científicos constituyen el núcleo de los sistemas de enseñanza, en cuanto transmiten su función decodificadora a las nuevas generaciones, y el corpus acumulado de información y creatividad intelectual.

Investigación y desarrollo

El tercero y más importante grupo de científicos es aquel que genera investigación e información. En los países avanzados este grupo constituye el motor del desarrollo industrial y económico y el punto focal para el futuro. La lucha comer-

cial entre los Estados Unidos y el Japón o entre las tecnologías intercambiadas entre los países desarrollados y subdesarrollados, indica que el futuro de nuestra civilización se decidirá, no con base en la guerra, como ha sucedido anteriormente, sino con base en la competitividad para la invención. Esta decidirá la capacidad de llevar los productos y procesos resultantes al mercado, de relacionar la industria con la academia y la sociedad civil, y de vincular la educación al desarrollo social.

Debemos comprender asimismo la necesidad de especialización en la ciencia, pues es claro que una población de 36 millones no representara todas las formas de la ciencia con igual fuerza.

Tecnología y desarrollo

Por último, el problema de la tecnología y el desarrollo se desprende de los dos anteriores como un corolario que cierra el círculo al reintroducirse en la educación y la ciencia. De esta manera, tenemos la estructura minimalista en la cual interactúan estos tres componentes para crear un todo dinámico.

Los asuntos tecnológicos, más que los otros dos, se relacionan con el carácter específico de

este país respecto de sus recursos naturales (en Colombia primordialmente los agrícolas, mineros y marítimos). A éstos se suma la mega-biodiversidad de Colombia —lo que significa que es el mayor banco genético del mundo— que es potencialmente la base de la industria de la biotecnología y la biología molecular. En Colombia, ciertos sectores económicos e industrias exigen mayor inversión en investigación y desarrollo para promover la competitividad haciendo una reconversión industrial que involucre el desarrollo tecnológico y la pericia científica.

La tecnología científica que ha de desarrollarse está dictada, en cierta medida, por las necesidades del país para generar productos comerciales de alta calidad y para promover el bienestar de su gente, pero se encuentra también condicionada por los estándares internacionales y por los sectores industriales competitivos más avanzados. No obstante, es evidente que estos estarían completamente apoyados por los componentes anteriores.

El problema de los factores decisivos para la competitividad en la industria se analizó en una reciente discusión adelantada en la Academia de Ciencias de Nueva York [6]. El Cuadro 5 pre-

senta una imagen del mundo que hemos modificado para incluir un concepto ligeramente diferente del que se ha formulado. En la imagen anterior, el mundo está dividido en países avanzados, semi-industrializados y pre industrializados, lo cual difiere de nuestros criterios, ya que lo que está en juego es algo más que la industria.

Como se describe, los países en vías de desarrollo —del Tercer Mundo— tienen un bajo ingreso per cápita, bajos costos laborales e infraestructuras deficientes. La industria elemental es laboralmente intensiva —no intensiva en capital y tecnología— y aún no hay un alto valor agregado añadido por la investigación científica y tecnológica. Los ejemplos ofrecidos del Tercer Mundo indican que su supervivencia depende todavía de la producción primaria y de los recursos naturales y que su inversión principal debe ser en educación.

Hasta ahora en Colombia los factores decisivos para la competitividad no han sido la innovación científica y tecnológica ni la producción a escala [13]. Los países del Tercer Mundo se encuentran en una relación de dependencia en lo que concierne a los regímenes técnicos, científicos y económicos [11–14, 16, 17]. Para ser competitivos y lograr un mayor desarrollo se requiere un

cambio total organizacional e institucional que implica la reestructuración y transformación de jerarquías básicas, sistemas de producción, distribución y consumo de bienes, servicios e información y, ante todo, una radical transformación de la articulación de investigación científica y tecnológica para el desarrollo.

Lo que está en juego aquí es entonces la productividad inteligente, la creatividad humana, la promoción de la ciencia y la tecnología colombianas y, por ende, del crecimiento económico, la calidad educativa y el bienestar socio-político y económico colombiano. en un nuevo proyecto civilizador.

Un plan para los próximos veinticinco años en Colombia

Urge preparar la próxima generación de colombianos con una óptima educación y con bases sólidas en ciencia y tecnología, en un proceso inicial de veinticinco años. Dicho lapso es el mismo requerido para implementar un programa pertinente para el fomento de la investigación en ciencia y tecnología para el desarrollo de Colombia.

La coevolución de la ciencia, de la tecnología y de la educación, en un proceso de desarrollo sostenible y de productividad inteligente, se debe implementar desde 1994, con la voluntad y el pleno apoyo político de los gobiernos, del sector empresarial, financiero y educativo, y con todo el apoyo nacional.

Aun cuando entre los más graves problemas de los países del Tercer Mundo están:

1. el atraso en educación, ciencia y tecnología;
2. la deuda externa;
3. la pobreza;
4. la sobrepoblación;
5. la inflación y el desempleo;
6. las inadecuadas estructura organizacional e infraestructura y
7. la corrupción e inestabilidad política,

se observa que Colombia se encuentra en la actualidad en una posición excepcional que le permite superar estas limitaciones. La economía colombiana está creciendo a un ritmo de crecimiento

anual del 5 %. Colombia ha disminuido su tasa de natalidad, iniciado una política social para extender los servicios básicos a los 10 millones de habitantes más empobrecidos y para atender los graves problemas sociales de criminalidad, ilegalidad, discriminación e inequidad que atañen al resto de la población. También ha comenzado la ampliación y modernización de su infraestructura de transporte y comunicaciones, la reformulación de su sistema jurídico, educativo e institucional, ha reordenado y descentralizado administrativamente su territorio y ha fomentado un manejo sólido y acelerado de su posicionamiento geo-económico.

Durante el gobierno del presidente Gaviria, con el Plan de Desarrollo Económico y Social para la liberalización de la economía y la modernización del Estado, se inició una nueva era de crecimiento económico y desarrollo, proyectada a largo término hacia el futuro. Dicho periodo presidencial culmina con la existencia de un claro compromiso de articular la ciencia [16], la educación y el desarrollo para el progreso de la nación.

El modelo de desarrollo y la política social para la próxima generación de colombianos, de-

ben ser aun más desafiantes: deben combatir el atraso educativo, el pesimismo, la violencia y la pobreza, a la vez que promover los derechos humanos, la productividad económica, la estabilidad política, la mejor calidad de vida y acelerar la creatividad científica y tecnológica.

Los tres aspectos principales de nuestra discusión se esfuerzan por reunir lo que consideramos como el núcleo del futuro de Colombia. Lo que sigue constituye las premisas o pasos iniciales a partir de los cuales puede desarrollarse un plan o estrategia. con apoyo de la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo y de la Presidencia de la Republica. La tarea es señalar la necesidad de que Colombia desarrolle un plan general de educación que brinde calidad y cobertura optimas. Ello incluye educación en ciencia y tecnología. así como la divulgación y el apoyo público a la ciencia y la tecnología. El proyecto civilizador debe dar un nuevo sentido y significado a la vida colectiva de los colombianos, con culturas de paz y convivencia, y esto debe gestarse con la participación equitativa de toda la nación.

No se puede enfatizar demasiado la importancia de tener un plan estructurado para un periodo de 25 años inicialmente. Para que dicho plan sea

valido y aplicable, debe llenarse otro requisito indispensable: que Colombia misma, esto es: sus gentes, opten por el cambio. Esta es otra manera de decir que el éxito de un plan semejante depende de que sea buscado con independencia de las vicisitudes de cambios políticos y de las ambiciones personales parcializadas. Ello implica un grado de madurez y compromiso de la dirigencia política que debe ser proporcionado, comprendido e impuesto por la gente misma porque, en su ausencia, los esfuerzos presentes serán inútiles ejercicios.

Si aceptamos que los tres puntos arriba descritos constituyen el primer paso en la reinvencción de Colombia como país, los dos elementos combinados que debemos considerar son el ritmo de cambio impuesto, en otras palabras, la homocinética de tal cambio, y el costo de tan acelerado desarrollo [1, 6, 14].

Al considerar el primer problema, la educación, debería esperarse que se haya implementado un plan general para fines del siglo. Este plan requeriría que todos los trabajos preliminares y los experimentos pilotos se hubieran realizado para determinar la eficacia de las tácticas aplicadas a este problema. Al mismo tiempo, el país debería

estar dispuesto generalizar un programa de este tipo, si ha de ser efectivo dentro de un periodo de 10 años, esto es, para el año 2004. Un pensamiento y obrar estratégico, concebido y auto-correctivo, en un marco temporal a largo plazo, permitirá construir las bases sólidas para lograr una educación, una ciencia y tecnología y un desarrollo sostenido en los próximos 25 años.

Lo anterior significaría que la población de Colombia debería estar preparada para un nuevo futuro dentro de este marco educativo para el año 2025 o 2030. Si un esfuerzo educativo semejante tiene éxito, el país habrá producido también un mejor futuro para su gente, en el cual habrá los cargos necesarios en la ciencia, la industria y las demás profesiones y saberes. Los esfuerzos de la ciencia y la tecnología deben desarrollarse paralelamente y con la comprensión de que un flujo continuo pasará entre la educación y la ciencia y la tecnología durante los 25 años de desarrollo. Estos se relacionarán directamente al crecimiento económico y al desarrollo social del país.

El cambio organizacional requerido será de una magnitud hasta ahora no implementada en Colombia, así como el vuelco total en las relaciones entre los gobiernos, empresas, la sociedad

civil, la academia y los medios de comunicación. Dicho cambio será no sólo interno al país, sino en su contexto internacional, y en relación a la creación de nuevos bloques económicos, políticos y socio-culturales.

Para mejorar el posicionamiento de Colombia en estos escenarios históricos, se debe emprender de inmediato la reestructuración del país a través del apoyo, la financiación y la implementación de un modelo de desarrollo acelerado, basado en la concertación de los ejes de ciencia, tecnología y educación.

El plan de fomento a la educación, ciencia y tecnología debe establecer objetivos claros contra el tiempo y la definición de un conjunto de indicadores que verifiquen la rapidez y eficiencia con que se logran los objetivos. El ritmo de cambio debe describir la cantidad de inversión y la velocidad con la cual debe ser introducida, para suministrar una medida inmediata de los resultados de tal inversión. Debe implementarse un sistema de funciones anticipativas para el monitoreo del plan a largo plazo. La ventaja de tal apropiación [14] es que el análisis de las curvas de los primeros indicadores puede predecir futuros problemas todavía corregibles en tiempo real, de manera que

no se obstaculice el progreso y no esté sujeto a los problemas reactivos del enfoque cortoplacista tan difundido en la actualidad.

Aunque a menudo las economías, políticas y gobiernos y ciertos grupos de interés están más interesados en el presente y en réditos inmediatos, que en el futuro y en la inversión y el desarrollo socio-económicos a largo plazo, sabemos que Colombia en conjunto replantea y asume un nuevo rumbo histórico. Como la planificación a largo plazo no se ha materializado en muchos países en vías de desarrollo, para su propio beneficio y productividad inteligentes es el momento de solucionar ese problema. Con una inversión, visión y estrategia a largo plazo en ciencia, educación y desarrollo, y con una amplia y acelerada implementación de un nuevo proyecto civilizador, Colombia tendrá la participación que amerita en el futuro de la humanidad.

Referencias bibliográficas

1. A. Iberall, D. Wilkinson and D. White, *Foundations for Social and Biological Evolution: Progress toward a Physical Theory of Civilization and of Speciation.*, *Cri de*

Coeur Series of Physical Philosophical Publications **3** (Laguna Hills, California, 1993).

2. C. Forero, *Colombia*, en *Los Sistemas de Ciencia y Tecnología en Iberoamérica*, L. A. Toro y J. Sebastián (Fundesco, Madrid, 1992).
3. A. Iberall, H. Soodak and C. Arensberg, *Homeokinetic Physics of Societies, A New Discipline: Autonomous groups, Cultures, Politics*, in H. Ruel *et al.* (eds.) *Perspectives in Biomechanics* **1** (Harwood Academic, New York, 1980).
4. J. D. Bernal, *World Without War* (Routledge and Kegan Paul, London, 1958).
5. J. D. Bernal, *The Social Function of Science* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1967).
6. T. Nakahara, *Global Competitiveness and Strategic Alliance in Hi-Tech Industries. A Think Tank Report for the New York Academy of Sciences, Focus*, N. Y. A. S. (March–April, 1994), p. 48.

7. National Academy of Sciences and Royal Society of London, *Joint Statement: Population Growth, Resource Consumption and a Sustainable World* 1993.
8. N. E. Hoyos, *Propuesta para la Creación de un Sistema de Estímulos a los Investigadores en Colombia* (Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, Bogotá, 1990).
9. P. Kennedy, *Preparing for the Twenty-first Century* (Random House, New York, 1993).
10. R. Villegas and G. Cardoza, *Latin America World Science Report*, Status of World Science **29**, 43 (1991).
11. J. L. Villaveces, G. Violini, A. Hamende and M. H. A. Hassan (Eds.), *Science in Latin America and the Caribbean and its Role in Regional Development* (Academia Colombiana de Ciencias, Centro Internacional de Física, Colciencias, Third World Academy of Sciences, Bogotá, 1992), p. 47.
12. J. Ziman, *The Force of Knowledge: The Scientific Dimension of Society* (Cambridge University Press, London, 1986).

13. DNP, *Educación, mercado de trabajo y desarrollo en Colombia*, Planeación y Desarrollo **XMV** (Bogotá, 1993).
14. A. Salam, *Building Science and Technology Capacity in the South: A Blueprint*, in J. L. Villaveces, G. Violini, A. Hamende and M. H. A. Hassan (eds.), *Science in Latin America and the Caribbean and its Role in Regional Development* (Academia Colombiana de Ciencias, Centro Internacional de Física, Colciencias, Third World Academy of Sciences, Bogotá, 1992).
15. A. Pellionisz and R. Llinás, *Space-time representation in the brain: The cerebellum as a predictive space-time metric tensor*, *Neuroscience* **7**, 2949 (1982).
16. COLCIENCIAS, *Convocatoria a la Creatividad* (Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, Bogotá, 1992).
17. OEA, *Directorio Interamericano de Instituciones de Investigación y Desarrollo* (Washington, 1979).
18. *The World Bank Atlas* (Washington, 1994).



colección

CIENCIA
AL VIENTO