



Biblioteca Virtual

Organización
de Estados
Iberoamericanos

para la Educación,
la Ciencia
y la Cultura

Revista Iberoamericana de Educación
Número 18

Monográfico: **Ciencia, Tecnología y Sociedad
ante la Educación**

Datos Artículo

Título: «El tránsito desde la Ciencia básica a la
Tecnología: la Biología como modelo».

Autor: Aldo González Becerra

El tránsito desde la Ciencia básica a la Tecnología: la Biología como modelo

Aldo González Becerra (*)

El conjunto de las ciencias básicas (matemáticas, física, química y biología) ha tenido períodos de luces y sombras en el desarrollo histórico de la raza humana, dependiendo algunas veces de genialidades que han contribuido a dar saltos cualitativos y significativos avances. Estos avances han coincidido normalmente con un adecuado aporte económico-social, pero también con períodos de crisis de los sistemas, en los que se ha puesto a prueba la capacidad de sobreponerse a imprevistos o catástrofes.

Esto ha originado que desde los tiempos de Pasteur se hablase de la ciencia y sus aplicaciones. Conceptos más modernos han centrado esta problemática dividiendo el campo entre ciencia básica, ciencia aplicada y tecnología. Aún hoy, no es fácil delimitar las fronteras entre estas grandes vigas maestras, donde se apoya y desde donde emerge el conocimiento.

91

1. Introducción

Quizás ha sido Konrad Lorenz el que ha puesto la adquisición del conocimiento al nivel de una ciencia de la naturaleza, tratando con ello de buscar una conexión con la realidad plausible. La teoría del conocimiento moderno, que se inicia con John Locke, va incorporando a través de su desarrollo una tendencia positivista y últimamente evolucionista. De tal forma se configura una pregunta fundamental: ¿de qué manera se adquiere

(*) Aldo González Becerra es colaborador científico del Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España.

conocimiento? La biología, por su parte, inquiriere cómo nace el conocimiento a partir de sí mismo. Y esta es la relación mínima que se establece entre la biología y la teoría del conocimiento (Riedl, 1983). Esta pequeña introducción, en la que se solapan algunos fundamentos de la filosofía moderna con la biología, se inserta en la dinámica propia de esta última como disciplina que crea conocimiento, al igual que la química, la física y las matemáticas, sin distinguir los grados de aproximación entre ellas y su capacidad para sumergirse en el campo de la abstracción misma. Sin embargo, no es posible concebir la puesta en marcha de un avance tecnológico sin disponer de los sólidos cimientos que aportan las ciencias básicas por separado. Más recientemente, como se ha podido evidenciar, se van produciendo puentes de aproximación en los que el soporte de una línea de trabajo se encuentra en los puntos de interacción entre dos ciencias. Este nuevo concepto es la multidisciplinariedad, palabra larga y compleja en contenido porque recoge teoría y experimentación de dos o más áreas de investigación, dando lugar a acoplamientos perfectos, en cuyos vértices se produce estimulación de la creatividad. La creación de conocimiento en las ciencias no tiende a admitir como verdad conceptos vagos ni imprecisiones cuantitativas; la forma más común está constituida por evidencias experimentales, que son vertebradas y comprendidas mediante hechos lógicos.

Los resultados del avance científico en la unidad que ha venido funcionando desde hace siglos, la nación o el Estado, pueden ser medibles teniendo en cuenta los factores que inciden en el desarrollo de los países. Tal desarrollo, que también se puede determinar, ha dado lugar a que se produzca una distribución entre países con capacidad para crear conocimiento y otros que casi no disponen de él; entre estos extremos se encuentran comprendidas todas las gradaciones. Un reciente ensayo del premio Nobel, Perutz (1991), en el que hace un análisis del impacto de la ciencia sobre algunos ámbitos que refuerzan la calidad de vida de las sociedades, concluye que el avance científico promovido por la investigación se ha producido en el área sanitaria, en la producción de alimentos, en el problema energético y en el del crecimiento de la población. En un artículo de Renart (1995) se señala que el desarrollo científico de un país es un parámetro indicador de la riqueza del mismo, tanto más cuanto que este desarrollo es la causa y no la consecuencia del desarrollo de los países.

Vista desde este ángulo, la relación entre sociedad-ciencia-tecnología y calidad de vida se sitúa sobre un eje en el que no es posible alcanzar el último paso antes de haber realizado un esfuerzo del conjunto social para establecer las bases de un desarrollo científico ordenado y sistemático que permita crear conocimiento. La biología, cuyo auge en este último medio

siglo ha sido destacado, es un buen modelo de cómo una disciplina científica puede permear diferentes fases del quehacer social.

La biología es un ejemplo útil que indica cómo a partir de la creación de conocimiento y de su consistente transformación en tecnología, ha permitido elevar los índices de calidad de vida, logrando a su vez una optimización del uso de los recursos disponibles de cada país. Los países que forman parte de lo que se ha dado en llamar primer mundo han adquirido capacidad económica para la compra y disfrute de infraestructura e insumos de los que no disponían, ya fuera por razones geográficas (países nórdicos), de extensión territorial (Europa occidental) o por estar sujetos a la acción de agentes orográficos o geológicos (países bajos, Japón); sin embargo, pueden adquirir alimentos, minerales, maderas, etc., que no pueden producir por sí mismos: esa acumulación de capital se realiza en gran parte mediante la venta de tecnologías a los países terceros. Tal trueque, que en un comienzo fue sólo mercantil, ha terminado induciendo tremendas desigualdades que mantienen verdaderos círculos viciosos entre países independientes y dependientes.

2. Aplicaciones de la biología en nuevos ámbitos

Las ciencias biológicas, que son nuestro modelo de análisis, han impulsado el desarrollo en todos los ámbitos del quehacer humano: nuevos fármacos, vacunas, cirugía especializada, diagnóstico y prevención de enfermedades en hombres, plantas y animales, nuevas cepas de organismos vivos de uso agrícola, ganadero y forestal, reparación del medio ambiente, etc., por solo nombrar algunos tópicos de actualidad.

En campos tan alejados de la actividad científica como son los temas judiciales, se ha hecho presente y hasta allí ha alcanzado su influencia. Hoy día a nadie le llama la atención que un juez solicite la aplicación de técnicas de PCR (Polychain enzyme reaction) para comparar el ADN de un supuesto agresor y dictar sentencia sobre un asesinato, o simplemente para determinar la paternidad responsable, identificar cadáveres calcinados por el fuego, semidestruídos por agentes químicos o destrozados en accidentes de tráfico.

Por ello mismo, es bueno manifestar que la propia sociedad debe crear los mecanismos para regular esta nueva afluencia de medios que proporcionan las nuevas tecnologías, con vista a que finalmente redunden en beneficio de la raza humana y se rijan por los estrictos cauces de la ética. Propugnar un avance en la investigación sin tener en cuenta estos

aspectos fundamentales, creemos que cuando menos supondría una actitud irresponsable.

La biología, en el concepto globalizador más reciente, busca sus cauces en la interdisciplinariedad de sus tareas y en una estrecha relación con las otras ciencias básicas, matemáticas, física y química, fundamentalmente por la inabarcabilidad del conocimiento que se produce cada día en los laboratorios de los países que se van incorporando a las nuevas disciplinas. En este sentido, la biotecnología ofrece el modelo más integrador, donde concluye e interactúa un conjunto de disciplinas entre las que se da un fuerte componente de interdependencia con la ingeniería genética (Muñoz, 1995).

3. Disciplinas viejas-disciplinas nuevas y su relación con el entorno natural

La biología, como todas las ciencias en su devenir histórico, ha ido construyendo un acervo de conocimientos por acumulación, pero quizás éste no sea su mayor tesoro ni su forma más espectacular de obnubilar a la razón humana. Sus saltos cualitativos son los que la sitúan a la cabeza del conocimiento y le permiten escudriñar en la frontera de lo desconocido. Un ejemplo claro ha sido la taxonomía (Muñoz, 1992), la vieja madre de las ciencias biológicas, que desde Linneo ordena y clasifica para ir dando forma a la macroestructura organizativa de la naturaleza. La taxonomía contribuyó así al estudio de la función, y a partir de ella a las especialidades, que parecieron ser la solución del siglo XIX, hasta llegar al período de la biología reduccionista donde la taxonomía quedó relegada al oscuro desván de la historia. En tiempos recientes es la biotecnología la que lentamente va reponiendo a la taxonomía a su nuevo sitio, quizás hasta con un cierto protagonismo. Aparecen nuevas especies con las que hay que trabajar de forma urgente, y el biólogo molecular debe saber con certeza qué organismo es el que está manipulando, y debe disponer también de una metodología rápida y moderna que le permita distinguir para saber qué está ordenando. Se produce de este modo una simbiosis y un aporte de las otras especialidades, y hoy la taxonomía invade los campos del ARN, utiliza las técnicas de campo pulsado para separar los cromosomas, y hasta causa fascinación cuando se descubre que las viejas especies que estuvieron agrupadas en un mismo género están emparentadas con otras de insospechado origen, y que los patrones morfológicos ya no son barreras seguras e infranqueables. Las especies se siguen comportando de acuerdo con la definición de Mayr, pero hay que cambiar los criterios, revisar los taxones y buscar nuevas metodologías para redefinir criterios con respecto a especies y subespecies en extinción que es necesario conservar para el

bien de la humanidad. La misma evolución sitúa el listón de la taxonomía a un nivel alto para responder a los nuevos desafíos que suponen validar o rechazar las teorías y conceptos como la evolución horizontal que, hasta hace un tiempo, eran impensables. Hoy son temas de actualidad en los que trabajan biólogos que han descubierto que los plásmidos son capaces de transportar material genético de unas especies a otras cuando, hasta anteaer, se consideraban como barreras infranqueables.

De igual manera, se podría ejemplificar a través del interés actual por el estudio de la biodiversidad, enfocando su interés no solamente como un mejor conocimiento de todos los seres vivos del planeta, sino también como la posibilidad de poder conseguir beneficios de todo tipo con los seres vivos que se van descubriendo en países donde la investigación básica ha realizado pocos avances. Igualmente, la conservación de esta rica biodiversidad es una obligación ineludible de la raza humana, concepto que se enlaza directamente con el medio ambiente. Un medio ambiente sometido a agresiones constantes por la colonización de las poblaciones humanas, reducido en sus posibilidades de equilibrio, con tendencia a incrementar la degradación de los ecosistemas, efectos que contribuyen con cierta inmediatez a reducir los índices de biodiversidad. Estudiosos de los fenómenos de catástrofes dan cuenta de este tipo de ruptura de los equilibrios, ya sea por sobrecaptura de las especies (captura indiscriminada de ciertas especies de peces en el Pacífico sur) o, por el contrario, explosión de la natalidad de otras que dilapidan el recurso de sustento (sobrepoblación de elefantes en África).

Ha sido esta nueva faceta de la biología la que ha hecho que actualmente los países del continente iberoamericano constituyan una de las zonas geográficas más interesantes de estudio, dada la importante biodiversidad que poseen y la constante amenaza que se cierne sobre ellos (zonas de guerra, extrema pobreza, explotación irracional de los recursos, etc.). Tanto en la zona del istmo centroamericano como en el África meridional, están ya en peligro de extinción varias especies de animales y de plantas, amenazadas por la actividad antropomórfica. En este último caso, se ha planteado un contencioso por parte de algunos países que consideran como una agresión que países ricos hayan incrementado sus bancos de genes con material originario de su flora. Un articulista de Zimbabwe escribía en un periódico suramericano que «el germoplasma de medio millón de especies vegetales ha sido 'saqueado' por países del norte a naciones en desarrollo de África y América del Sur...» (Mutume, 1995), y agregaba: «Más de dos tercios de las especies vegetales del mundo son originarias de países en desarrollo, y el valor de los recursos genéticos de uso medicinal podría llegar a 47.000 millones de dólares para el año 2000». Estos países han perdido todo control sobre su utilización y las patentes,

siendo más grave aún la negación al acceso a estos bancos de genes impuesto por las multinacionales. Plantas de uso agroindustrial que representan millones de dólares para la economía de los países en desarrollo, como el algodón y la soya, han sido manipuladas genéticamente en Estados Unidos y Europa, y posteriormente patentadas, lo que ha causado dificultades para su exportación al norte.

En Nicaragua, en ciertas zonas como las comunidades indígenas de Miskitos, Sumos, Ramas, etc., han convivido en una situación de equilibrio con su entorno natural en los últimos diez mil años, lo que les ha permitido obtener alimentación, medicinas, habitación y niveles básicos de calidad de vida haciendo uso de los recursos hídricos y de la capa vegetal. En otras zonas, el crecimiento de la población, que carece de los medios tecnológicos y del capital humano para la explotación racional de los recursos, crea un efecto negativo en el medio ambiente que rodea a estos asentamientos humanos. En tales casos se producen fenómenos de agresión a los recursos vegetales (selva tropical) para la obtención de suelo de cultivo y de combustible, lo que a su vez, por la labilidad de la estructura del suelo, produce su degradación, ya que son retirados de nutrientes de la capa orgánica. Algunos autores sostienen que la cubierta vegetal de las zonas tropicales se relaciona de una manera extremadamente débil con el suelo donde se implanta y que lo hace a través de fenómenos de simbiosis, como puede ser el de micorrizas. Éste consiste en una interacción positiva entre planta y hongo, en el que la planta alberga en sus tejidos al hongo y, por el contrario, sus raíces infectadas por el micelio (cuerpo) del hongo le permiten obtener nutrientes del suelo que de otra manera le sería imposible poder captar y aprovechar para su nutrición. De esta forma, las plantas alcanzan un mayor desarrollo, mejoran su resistencia a las plagas y elevan su rendimiento en calidad y cantidad de madera. Por el contrario, si se elimina la capa vegetal por tala indiscriminada, la alta pluviosidad de la zona arrastra el débil manto de materia vegetal y se pierde la capacidad de regeneración del suelo, dando paso a los primeros síntomas de erosión y haciendo imposible la restitución de la capa vegetal de origen.

En una etapa más avanzada en la estructuración de un ecosistema, se puede producir una ruptura de los ciclos biogeoquímicos, apareciendo los primeros síntomas de las catástrofes biológicas. Como es bien sabido, los productores primarios, que en los ecosistemas terrestres son los árboles, albergan faunas de consumidores primarios que son la fauna herbívora y la frugívora, además de la microfauna del suelo que corresponde a insectos saprófagos. Todos ellos se ven amenazados de inmediato en cuanto el recurso de sostén que es el suelo comienza un ciclo de destrucción. Tanto unos como otros son, a su vez, eslabones anteriores que permiten la implantación de consumidores secundarios y terciarios. Al

desaparecer los primeros, se producen migraciones y en los casos de dificultad de desplazamiento estas poblaciones se ven amenazadas de extinción. En resumen, en una agresión a un ecosistema hay un constante ataque a las especies y una constante amenaza de disminución de la biodiversidad.

De otro lado, está el factor que tiene que ver con la supervivencia de las poblaciones humanas. Las autoridades de estos países deben considerar si aplican normativas para evitar la agresión medioambiental o ponen a estas poblaciones en condiciones mínimas de supervivencia al no poder sembrar maíz y coger madera para construir viviendas y preparar alimentos. En tan lamentables condiciones que conforman la realidad de estas sociedades, el problema es la reducción notable de la biodiversidad: el dilema aparece sin solución en el horizonte próximo, por lo menos hasta la fecha. La única conclusión que podemos obtener es que biodiversidad y subdesarrollo son incompatibles. Parece que nos estamos aproximando a la hora en que las sociedades industrializadas van a tener que sopesar, entre sus políticas de cooperación, incluir líneas de acción para restablecer los equilibrios en las zonas deprimidas donde la destrucción de la biodiversidad ha pasado de ser una simple amenaza a constituirse en parte de una realidad. Como aporte positivo, la biología dispone de herramientas para inventariar y cooperar en la reparación de los ciclos dañados para restablecer el equilibrio entre las especies. Sin embargo, la evaluación del impacto ambiental, tanto desde el punto de vista de la actividad antropomórfica negativa como desde la implantación de industrias para impulsar el desarrollo, debe tener en cuenta el apoyo de las ciencias sociales. Sin contar con estos factores será imposible lograr que la sociedad en su conjunto se haga cargo de esta problemática (no hablamos sólo de zonas deprimidas).

En el entorno de los países desarrollados, estas sociedades, con más medios a su alcance, no han logrado garantizar un desarrollo sostenido en armonía con el medio ambiente. En cualquiera de los casos, se hace imprescindible desarrollar una conciencia social que sea capaz de involucrar a las poblaciones humanas en mantener los equilibrios con la naturaleza. Estos conceptos se recogen en determinadas sociedades como ecologismo. No obstante, creo pertinente señalar que la ecología es una ciencia cuantitativa que se preocupa del estudio del funcionamiento de los ecosistemas, y que lo que se echa en falta es la puesta en práctica de una política medioambiental que debe ser reflejo de una sociedad con las suficientes luces históricas como para comprender que las poblaciones humanas tienen una estricta dependencia de los sistemas donde están insertas, lo que hace que su deber sea tratar de mantener un equilibrio razonable con ellos dentro de sus posibilidades. El concepto general es

introducir un manejo adecuado de los ecosistemas como recurso renovable para asegurar su permanencia. Esta conceptualización del medio ambiente como universo de procesos lábiles y limitados fue una cuestión que marcó la supervivencia de nuestros antepasados sin tener que recurrir a profundos análisis; lo esperable de las sociedades contemporáneas es que sepan rescatar dichos modos de hacer, de producir y de relacionarse con el medio ambiente, sin inducir procesos irreversibles de destrucción de los medios de subsistencia. En tal sentido, la biotecnología ambiental puede cumplir un papel relevante para detectar, prevenir y remediar la emisión de contaminantes, evitando la destrucción de los equilibrios en los países desarrollados y corrigiendo los errores cometidos por estos en los países terceros cuando asuman mayores niveles de desarrollo (FEB, 1994b).

4. La intromisión de la biología actual en la salud

Los estudios del proyecto genoma humano (PGH), que en su inicio no fue más que la osadía de un grupo de científicos para introducir la curiosidad en los mecanismos básicos de regeneración de la propia especie, van echando luces poco a poco sobre errores genéticos y enfermedades que hace no más de diez años aparecían con una etiología indefinida. Los tres objetivos a cubrir por el PGH fueron: un mapa genético de las posiciones relativas de los genes, un mapa físico de las posiciones reales, y la determinación de la secuencia de las bases del ADN (FEB, 1995).

Todos los humanos somos portadores de un genoma muy parecido, pero las mutaciones de su propio ADN son las responsables de las diferencias. Si estas diferencias están localizadas en una parte importante del ADN, se puede producir una interrupción de la actividad biológica normal generando lo que conocemos como enfermedad genética, que corresponde a trastornos o deficiencias que son propios del individuo y que están determinados por la conformación de su ADN.

A partir de aquí se ha creado la terapia génica, que ha ido ganando cuerpo con la aplicación de las técnicas de transferencia génica. Las aplicaciones pueden dirigirse a campos como el tratamiento del cáncer y las enfermedades infecciosas (ej., en casos de tanta actualidad como el SIDA). Sin embargo, cuando se habla de este tema es necesario hacer referencia a dos formas de atacar el problema: una es la terapia somática, que se aplica mediante la transferencia de genes (uno o varios) a células corporales, y su efecto incide sólo sobre el paciente. La otra es la terapia genética germinal que se aplica a las células germinales del individuo, con lo que se podría variar la configuración genética de las células sexuales y

transmitir dichos caracteres a las futuras generaciones. Esta segunda terapia tiene profundas implicaciones éticas y morales, estando prohibida actualmente en todos los países.

El factor de interdisciplinariedad en áreas muy definidas de la biología molecular, como es la transferencia génica, debe concentrar esfuerzos para resolver los problemas prácticos que crea el nuevo conocimiento, como son: el mejor percibimiento de los sistemas de trasplante de células implicadas en la reconstitución, el desarrollo y mejora de técnicas de transferencia de genes, las consecuencias de la introducción de células que producen proteínas que se comportan como extrañas, el mejor entendimiento de los factores que controlan la expresión de genes introducidos en células somáticas (Muñoz, 1992).

Los últimos avances en materia de trasplantes han comenzado a utilizar células de cordón umbilical que contienen aproximadamente unos 100 cc de sangre placentaria, con células precursoras del sistema sanguíneo capaces de crecer y con unas características que aumentan la compatibilidad con el receptor, disminuyendo el rechazo que se da con frecuencia en los trasplantes de médula ósea aplicados al tratamiento de linfomas, leucemias y algunos tipos de anemias (*El País*, 1996). En varios países se han puesto en marcha bancos privados en los que se almacenan todos los cordones umbilicales de los recién nacidos, con vistas a servir al niño donante, en primer lugar, y luego a otros usuarios.

Un reciente hallazgo, destacado por la prensa, hace referencia a las características del gen *BRCA-2*, responsable en un 10% de los cánceres de mama y de ovario, que actúa de forma silenciosa, es decir, pasa de una generación a otra sin manifestarse hasta que aparece la enfermedad; a estos genes inactivados por causas que se desconocen también se les ha llamado genes dormidos. Su detección, aislamiento y caracterización han contribuido a esclarecer su función como agentes etiológicos de este tipo de cáncer, ya que muchas mujeres pueden ser portadoras de este gen mutante pero no llegan a padecer la enfermedad. La detección por técnicas de biología molecular es una nueva vía para el tratamiento y prevención de esos tipos de cáncer (*El País*, 1996).

Esta verdadera estampida de los avances en biología molecular y en ingeniería genética está conduciendo a la idea de patentar series de genes humanos. Creemos que de forma paralela se deben introducir criterios que regulen y modulen el alcance de los mismos para que dicha biología y la que se haga a partir del año 2000 tengan abierta una puerta al futuro. En tal aspecto tiene especial influencia la actitud de las empresas, que se muestran renuentes a desarrollar aplicaciones diagnósticas y terapéuticas

si sus cuantiosas inversiones no están protegidas mediante patentes. Este es un debate recién abierto por el que habrá que pronunciarse, teniendo en cuenta que se está manipulando la base que da consistencia a la existencia de la propia especie humana.

5. Una visión desde la zoología

Los mastozoólogos modernos han comenzado a disponer de herramientas poderosas para interpretar el comportamiento de las especies. Un ejemplo citado por Perutz (1991) nos puede ayudar a comprender cómo evolucionan los conceptos y, a partir de este punto, cómo se ponen en marcha las aplicaciones. El camello y la llama tienen una proximidad como especies pero viven en ambientes diferentes: el primero dispone de una hemoglobina que tiene una afinidad normal por el oxígeno y que está en relación con su tamaño; la llama, que vive en la cordillera de los Andes, ha sufrido una mutación en su ADN, correspondiente a una de las dos cadenas de globina que componen su hemoglobina, dándole a su vez una mayor afinidad por el oxígeno. Tal mutación le significa una ventaja, ya que este animal puede respirar un aire con bajo contenido de oxígeno, lo que le ha permitido que pueda colonizar las alturas andinas. Aquí surge de inmediato la pregunta: ¿fue la alteración del ADN lo que le facilitó colonizar nuevos nichos ecológicos?, o a la inversa, ¿el desplazamiento de la especie a ese ambiente incrementó la presión ambiental creando las condiciones para inducir la mutación produciendo la adaptación? Este sencillo ejemplo pone de manifiesto cómo el estudio de la biología con nuevas herramientas permite dar más explicaciones, pone en tela de juicio conceptos tan establecidos como la teoría de la evolución de las especies enunciada por Darwin y, al mismo tiempo, detecta cambios en los genes que permiten estudiar las ventajas o desventajas de las proteínas que codifican para determinadas funciones e inciden sobre el comportamiento de las especies.

Esta es una manera más de seguir profundizando en el conocimiento de los genes y en sus potencialidades como generadores de formas de vida, sin abandonar la motivación básica de forma creadora de conocimiento, que nunca puede ir en contra de quienes la han puesto en marcha, en este caso la especie humana en su multifacético caleidoscopio de razas y de distribución geográfica.

También hay que reseñar el espectacular avance moderno de la inmunología, que ha tenido importantes repercusiones en la biología básica (anticuerpos monoclonales) y en aplicaciones a la salud humana (trasplan-

tes de órganos) o en control medioambiental (detección de contaminación por pesticidas).

6. **Cómo se produce el conocimiento en las sociedades más desarrolladas**

Las entidades que producen conocimiento científico están insertas en la trama social, y son esencialmente el Estado y las empresas (tabla 1). Esta tipología varía en gran medida dependiendo del país: Japón es el más claro ejemplo en el que la intervención del Estado es inferior a la de las empresas en I + D; en cambio, en Estados Unidos y Europa Occidental el Estado soporta una parte importante de la capacidad investigadora, en especial cuanto más básica es la investigación. Las empresas financian en mayor medida la investigación que supone menor riesgo, resultados a corto plazo y máximo de aplicación, lo que hace que sus características diferencien a una de la otra. Sin embargo, el esfuerzo conjunto de ambos sistemas da como resultado la evolución tecnológica que realimenta el sistema.

TABLA 1
Entidades productoras de conocimiento científico, características y resultados

101

Producen Ciencias	Características	Resultados
Estado	Tiempo	Evolución Tecnológica
	Dirección	
Empresa	Orientación	
	Impacto	

Si se toma como ejemplo la biotecnología, tenemos que en Estados Unidos, que es la actual potencia hegemónica, se hizo una seria apuesta por poner en marcha empresas de alto riesgo, que se crearon con el objetivo de centrarse en aspectos concretos para la obtención de productos específicos, y que tuvieron su origen en los equipos de investigación que

procedían de las universidades o centros públicos de investigación. Esta gran iniciativa, que inició su andadura en 1988, se ha venido desarrollando con altibajos. Recientemente, a partir de 1993, se ha detectado un nuevo repunte, pero sigue sin consolidarse.

Los principales productos y sus aplicaciones se resumen en la tabla 2. Los avances de la biotecnología aún no han logrado consolidarse en los mercados, primero por la reticencia de los consumidores a incorporar a sus hábitos sanitarios, culinarios o de protección del medio ambiente organismos (MOMGs) o productos que hayan sido objeto de manipulación genética, cuando además no suponen ventajas económicas especiales para los consumidores (FEB, 1994b).

TABLA 2
La biotecnología y las aplicaciones de los productos comercializados en algunos mercados

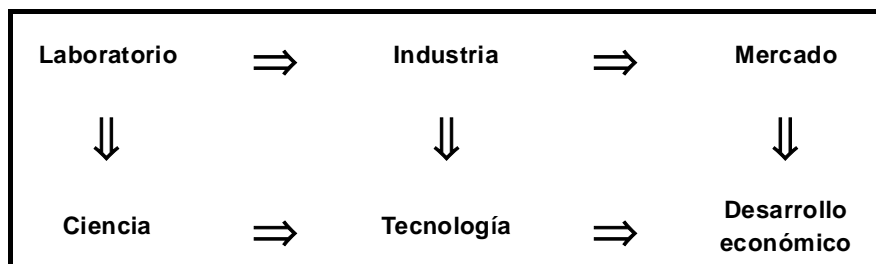
Actividad económica	Ámbito	Organismos o Productos	Aplicaciones
Comercialización de Productos	Salud	Humana	Diagnóstico
	Alimentos	Animal	Farmacéutico
		Plantas	Semillas-Fertilizantes
		Aditivos	Palatabilidad
		Estabilizantes	Conservación
	Calidad Ambiental	Enzimas	Degradación
		Microorganismos	Reciclaje

En Estados Unidos ya comienzan a aparecer a la venta tomates «*Flav Savr*», que han sido manipulados genéticamente para mantener la turgencia de la piel y facilitar el transporte (FEB, 1994a). Estos productos son expedidos, debidamente etiquetados, en mercados especializados. Las leyes de Estados Unidos aún siguen a la cabeza de proporcionar una legislación permisiva que admite liberar estirpes o sus productos al medio ambiente sin mayores restricciones. En todas estas materias el resto de países permanece al margen o dispone de una legislación rígida y prohibitiva, como es el caso de Alemania.

7. Papel de la innovación en la dinámica ciencia y tecnología

La innovación continúa siendo el factor más versátil y el que produce la realimentación para que la dinámica entre ciencia y tecnología pueda producir conocimiento. El punto de convergencia está en el sector industrial, en el que sería imposible para la ciencia, con su propio esfuerzo aislado, crear las bases para obtener nuevo conocimiento sin disponer de la tecnología. En tiempos recientes, en los que la informática ha invadido todos los campos del quehacer científico, su avance sería impensable sin disponer de la innovación en nuevos materiales para la construcción de ordenadores cada vez más rápidos y de mayor capacidad. La fotónica ha dado su aporte al diseño de aparatos para cuantificar cambios a escala de nanogramos, las tecnologías de uso y aplicación del frío permiten mantener las estirpes a temperaturas inferiores a -80°C , y así el conjunto de tecnologías que sería largo enumerar son en gran medida la explicación de los ingentes avances de la biología contemporánea (Fig. 1).

FIGURA 1
Esquema de las relaciones entre ciencia, tecnología e innovación



8. Existe una brecha que separa a los conjuntos sociales

Las actuales formas de medición dejan ver la distancia entre las sociedades a la luz de divisiones físicas o económico-políticas. Así se habla con propiedad de primer mundo y de continentes o subcontinentes deprimidos. A veces en un mismo país hay poblaciones con diferente grado de desarrollo, como es el caso de las costas Atlántica y del Pacífico en Centroamérica, donde incluso los componentes raciales están distribuidos de forma heterogénea y desigual. Las regiones o naciones carecen muchas veces de correspondencia en cuanto a su desarrollo evolutivo desde una perspectiva sociológica, ya que en algunos casos se respetaban las

fronteras que separaron etnias o naciones, pero en otros se trazó simplemente una línea para separar territorios que interesaron a los colonizadores cuando esas tierras fueron descubiertas. Los grandes fenómenos socioculturales (India, China, Europa Occidental, Japón, África) no tienen una distribución homogénea y no es fácil analizar cada uno de ellos sin tener en cuenta su desarrollo histórico-socio-político. En Europa, un ejemplo lamentable es el enfrentamiento entre las diferentes etnias que componen la ex-Yugoslavia, y en África ha ocurrido un fenómeno similar entre tutsis y hutus, lo que sirve de muestra acerca de la diversidad de razas y culturas en la especie humana, dando lugar a situaciones de alta complejidad a las que hay que incorporar gran número de variables que no son sencillas de definir. Lo único relativamente fácil de identificar es que en la actualidad existen tres zonas con altos índices de desarrollo, que son las que concentran casi el 95% de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

América Latina, como bloque, muestra una aproximación a esa descripción de la realidad internacional. Existen, por un lado, países con un buen desarrollo científico y con cierta capacidad para traducir ese avance en tecnología, pero no disponen del conjunto de estructuras para que se mantengan de forma sostenida y puedan competir en mercados internacionales. De esta manera, se ven relegados a la explotación de materias primas que en ocasiones las nuevas tecnologías van dejando obsoletas; por ejemplo, la sustitución del cobre por fibras sintéticas para la conducción de señales electromagnéticas, el clonaje de un gen que codifica una molécula similar al cacao, avances que dejan fuera del mercado las materias primas de uno o varios países. Este desequilibrio de posibilidades para producir tecnología se ha tratado de paliar creando mecanismos que faciliten la transferencia tecnológica, aunque muchas veces este camino se ve entorpecido por problemas de patentes y por los riesgos propios que implica dicha transferencia.

Por otro lado, hay países en los que incluso tal vía se ve obstaculizada porque no disponen de los mecanismos necesarios para que esta tecnología importada se implante, se desarrolle y se sostenga. De ahí emerge la urgente necesidad de realizar un esfuerzo para llevar a cabo una política científica que permita optimizar recursos de acuerdo con las prioridades que se establezcan en los países o en las regiones. Esta propuesta está condicionada fundamentalmente por el alto grado de competitividad que impone el actual desarrollo científico. Aun cuando en los países avanzados hay síntomas de crisis, no se abandonan las prioridades, porque se tiene conciencia de que es el conocimiento el que crea riqueza y no al contrario. Es evidente que países pequeños, como es el caso de los que integran Europa Occidental, con una elevada tasa de población, no podrían sostener

su alto índice de vida si no fuesen capaces de producir conocimiento y traducirlo en tecnología. También es necesario señalar que no es posible dejar toda la responsabilidad al componente científico sin tener en cuenta la promoción del componente social, donde por ejemplo el sector industrial es de gran importancia. No tomar en consideración este matiz puede llevar a producir ciencia elitista desligada de los planes estratégicos del conjunto social.

El pensamiento debe estar dirigido a elevar la capacidad de creación de conocimiento, reforzando el sistema universitario por medio de programas de formación de capital humano, asegurando su posterior inserción en los organismos que hacen ciencia a fin de consolidar los grupos de investigación, y asignando recursos para mantener laboratorios de investigación en líneas de interés que permitan desarrollar avances tecnológicos. Por esta razón, el esfuerzo en formar personal altamente cualificado debe ser el primer eslabón para hacer ciencia de calidad traducible en tecnología, que permita a esos países la posibilidad de cimentar un desarrollo sostenido.

Es aconsejable formar a los científicos en un contexto donde estén concienciados de la utilidad de la ciencia como fuente de innovación. El científico debe estar abierto a incorporar nuevas líneas y a ser receptivo de la realidad que lo sostiene, a fin de innovar y mejorar los índices de calidad de vida de la sociedad. Y es probable que si no se logra aunar este esfuerzo y conducirlo a través de planes subregionales para optimizar los recursos, los países tengan que fijar a corto plazo un sistema de prioridades que puede resultar más rígido y con menos posibilidades de incorporar un desarrollo científico adecuado a las necesidades de su potencial tecnológico. De no ser así se corre el riesgo de hipotecar el futuro y quedarse relegado en un rincón de la historia.

En el caso de Iberoamérica es necesario utilizar todos los recursos disponibles provenientes de la cooperación internacional para hacer esta apuesta de futuro. Los países de la Comunidad Iberoamericana disponen de algunas herramientas producto de su devenir histórico, como es la ausencia de barreras lingüísticas. Eso facilita de entrada la búsqueda de conexiones que contribuyan a equilibrar las diferencias y que lentamente deben conducir a reducir otro tipo de barreras que impidan la integración. Pensamos que siempre va a ser más fácil el diálogo entre dos personas discutiendo sobre la estructura de una proteína y, a partir de este punto, extenderlo hacia otras áreas de intereses económicos o sociales. Por otro lado, tampoco podemos caer en la ingenuidad de creer que la ciencia es neutra. Como todo quehacer humano, está impregnada de luces y sombras

que son inseparables compañeras de nuestra especie desde los albores de la civilización.

Bibliografía

- ARGOS, L.: «España ha realizado siete de los 200 trasplantes de células de cordón umbilical del mundo». Diario *El País*, Madrid, 24.04.1996.
- «El gen del cáncer de mama BRCA-2 es silencioso». Diario *El País*, Madrid, 24.04.1996.
- FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Biotecnología en alimentos y bebidas». Boletín 2, enero 1944a.
- FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Patentando vida». Boletín 1, junio 1993.
- FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «La aplicación de la investigación genética humana». Boletín 3, enero 1995.
- FEDERACIÓN EUROPEA DE BIOTECNOLOGÍA, Grupo de Estudio sobre la percepción de la biotecnología: «Biotecnología ambiental». Boletín 4, junio 1994b.
- IRELA: *Ciencia y Tecnología en América Central*. Ed. Revel y George Ltd. Manchester, 1993.
- LORENZ, K.: *La otra cara del espejo. Ensayo para una historia natural del saber humano*. Plaza & Janés, Barcelona, 1973.
- MUÑOZ, E.: «Aspectos de la biología actual. Filosofía y Biología en acción». *Arbor* CXLIII, 564: 9-43, 1992.
- MUÑOZ, E.: «Ingeniería genética en el sector primario y secundario: beneficios y problemas». *Documento IESA 95-01*: 1-21, 1995.
- MUTUME, G.: «Patentes genéticas acorralan a agricultores del sur». Diario *El Universal*, Caracas (27.09.95), 1995.
- PERUT, M.: *Is Science Necessary?* Oxford Univ. Press, 1991.
- RENART, J.: «¿Es la ciencia necesaria?», Diario *El País*, 1995.
- RIEDL, R.: *Biología del conocimiento. Los fundamentos filogenéticos de la razón*. Ed. Labor Universitaria, S.A. Barcelona, 1983.