

FIDEL CASTRO DÍAZ-BALART*

IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL DESARROLLO ECONÓMICO NACIONAL LA EXPERIENCIA CUBANA

EN EL AÑO 2003 celebramos en mi país el 150º aniversario del natalicio de José Martí, el Apóstol de la Independencia. Varios eventos internacionales ese año tuvieron la oportunidad de reflejar la permanente validez del pensamiento universal de Martí. En esta reunión latinoamericana quisiera comenzar mi intervención con una cita de él: “¿Para qué, si no para poner paz entre los hombres, han de ser los adelantos de la ciencia?”.

EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Para comprender el actual desarrollo de la ciencia y la tecnología en Cuba, es necesario abordar los antecedentes que lo hicieron posible, comenzando por la esfera de la educación.

EDUCACIÓN

El establecimiento de un amplio programa educacional y el surgimiento de un verdadero desarrollo científico en Cuba emanan de una decisión política que se remonta a 1959, que dio como resultado profundas

* Físico-matemático. Académico Titular del Ejercicio 2002-2006, Sección de Ciencias Naturales y Exactas, Academia de Ciencias de Cuba.

transformaciones en las esferas de la educación, la ciencia y la cultura. Como consecuencia directa de ello, surgieron diversos programas e instituciones científicas y educacionales que abarcaban un amplio espectro de la ciencia y la tecnología modernas, cuyos logros han beneficiado a amplios sectores de la población cubana.

En 1958 sólo había tres universidades públicas –una de ellas, la Universidad de La Habana, fundada en 1782– con una matrícula total de 15.609 estudiantes.

A mediados de la década de 1950, la población cubana ascendía aproximadamente a 6 millones de habitantes. Un millón era analfabeto. El 56% de los niños asistía a la escuela primaria, y solamente el 28% entre las edades de 13 a 19 años continuaba sus estudios en el nivel secundario. Unos 17.400 llegaban a ser graduados universitarios, y sólo el 3% de ellos eran mujeres.

En 1961 se llevó a cabo una campaña nacional con el objetivo de erradicar todos los índices de analfabetismo y semi-analfabetismo que existían en el país, condición esta que afectaba a más del 30% de la población. Dicha campaña fue complementada por otra de seguimiento destinada a hacer que los recién alfabetizados alcanzaran el sexto grado y, después, el noveno. Un elevado porcentaje de los que participaron alcanzó posteriormente niveles superiores. El presupuesto destinado a la educación se ha incrementado 22 veces con respecto al año 1958.

Estas obras nos permitieron establecer los siguientes principios básicos de la educación en Cuba:

- Igualdad de oportunidades y posibilidades de educación gratuita para todos los ciudadanos, sin importar origen social, edad, sexo, raza, religión o lugar de residencia.
- El estudio-trabajo, que vincula la teoría con la práctica, la escuela con la vida, la educación con la producción.
- Participación de toda la sociedad en las tareas de la educación, reconociendo a la sociedad como una gran escuela.

Se puede afirmar que las universidades cubanas se convierten cada vez más en *centros de investigación*. Más del 50% de todo el trabajo de investigación y desarrollo en Cuba es realizado en las universidades y sus centros de investigación, el 77% del claustro universitario participa activamente en los proyectos nacionales y locales, y el 42% de los estudiantes de pregrado de años superiores participan en actividades de investigación científicas extracurriculares.

El 10% de todos los estudiantes matriculados en cursos de pregrado pertenecen al movimiento de estudiantes de alto rendimiento y participan en trabajos investigativos de alta prioridad.

Hoy Cuba posee 64 centros de educación superior –53 universidades y 11 facultades independientes– con una matrícula de 300 mil estudiantes y 82 programas curriculares. Existen más de 23.651 profesores –el 28% de los cuales posee la categoría de Doctor en Ciencias– y programas curriculares en 28 especialidades. La actual universalización de la educación superior, que ahora se expande más allá de los predios universitarios hacia todos los municipios del país, es el mayor reto que se ha enfrentado desde 1959. Ello implica la creación de 400 filiales universitarias municipales en todo el país, donde cerca de 150 mil estudiantes se beneficiarán con 42 programas curriculares.

Actualmente, más de 700 mil personas –el 6,3% de la población total– poseen nivel universitario. Miles de estudiantes de otros países del Sur también se han beneficiado de estos programas durante varios años –16.951 graduados, 123 de los cuales poseen el grado de Doctor en Ciencias. En estos momentos, como un aporte de Cuba al desarrollo de la salud pública en el Tercer Mundo, en la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas hay alrededor de 7 mil estudiantes de medicina de diferentes países de América Latina, África y América del Norte.

En relación con la investigación y el desarrollo y su incorporación a la educación superior, teniendo en cuenta las experiencias pasadas, y mediante el uso de las modernas tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), los expertos cubanos han desarrollado métodos modernos y software educativos para la erradicación del analfabetismo, que ya se están aplicando en países de América Latina, como Venezuela, y en algunos países africanos. Por su parte, Cuba le ofreció a UNESCO la posibilidad de disponer gratuitamente de estos programas.

En cuanto a la creación de capacidades educacionales, un ejemplo merece ser mencionado: las tecnologías de la información y las telecomunicaciones.

El carácter interdisciplinario de las tecnologías de la información hace que sea particularmente difícil determinar sus orígenes en Cuba. Sin embargo, en abril de 1970, el Centro de Investigaciones Digitales, adscrito a la Universidad de La Habana, y creado poco antes, fue capaz de producir la primera microcomputadora nacional, conocida como CID-201 –en aquel entonces, contraparte de la PDF-11 estadounidense.

A partir del curso académico 1970-1971, se comenzó a dictar la especialidad de Cibernética en la Universidad de La Habana. Entre 1988 y 1989, la carrera de Computación comenzó a ser ofertada por las universidades de Villa Clara y Oriente. Las carreras de Automatización y Telecomunicaciones, entre otras, se añadieron al prospecto. Durante el curso académico 2002-2003, un nuevo centro de educación superior abrió sus puertas: la Universidad de las Ciencias Informáticas, que se enorgullece de contar actualmente con un total de 4 mil estudiantes,

y se espera que sea un pilar en la formación de estos especialistas en nuestro país.

Desde 1970 hasta el presente, 2.366 alumnos se han graduado de la especialidad de Ciencias de la Computación, anteriormente conocida como Cibernética. En el mismo período, 2.589 estudiantes se han graduado en la especialidad de Ingeniería de la Información.

En el caso de la enseñanza técnica de nivel medio, la matrícula del actual curso escolar asciende a 30 mil estudiantes.

Con respecto a los esfuerzos que hace Cuba en el campo de la educación primaria, los estudiantes de todos los grados tienen a su disposición computadoras y redes de computadoras en todo el país.

Para tener una idea de la magnitud de este esfuerzo, a pesar del bloqueo económico impuesto a Cuba desde el exterior, recientemente condenado en las Naciones Unidas por 178 países, y que obliga al país a erogar una mayor cantidad de dinero en las compras que efectúa en lugares mucho más lejanos, con muchas limitaciones, se compraron 46.290 computadoras, equipadas con multimedia e impresoras, que fueron distribuidas en todas las escuelas primarias y secundarias, incluidas todas las escuelas rurales. Esta última tarea requirió la instalación de paneles solares en 2.368 escuelas primarias, secundarias, politécnicos y otras instituciones de educación superior en todo el país.

Antes de abordar el tema de la biotecnología, permítanme hacer una breve referencia al impacto que han tenido la ciencia y la tecnología en otras ramas de la industria. Cuba ha atravesado varios modelos organizativos de políticas científicas, incluida la creación, a mediados de la década del noventa, de un sistema nacional para las innovaciones científicas y tecnológicas. Además, ha revitalizado las tecnologías nacionales, adaptando la ciencia y la tecnología importadas.

Esta práctica fue especialmente importante en la adaptación de las plantas eléctricas del país, un proceso que le permitió a Cuba, durante 2003, generar cerca del 95% de su electricidad utilizando el crudo nacional. Las prospecciones petrolíferas en alta mar, que se llevan a cabo con la colaboración de compañías extranjeras en profundidades que exceden los 2.000 m –una actividad que desempeña un papel importante en la asimilación de las altas tecnologías y su inserción en la nueva economía–, constituyen una esfera en la cual Cuba tenía muy poca experiencia en el pasado.

También quisiéramos mencionar los resultados obtenidos en la industria del níquel. Mediante la modernización de la tecnología y las técnicas de gestión, y con el uso intensivo de la ciencia y la técnica, esta industria obtuvo un récord productivo de 80 mil toneladas en el año 2002, lo cual la convierte en el cuarto mayor productor a nivel mundial.

La introducción de las innovaciones tecnológicas y la adaptación de las tecnologías transferidas también han beneficiado a otros sectores de la industria:

- En 1992, sin tener ninguna experiencia previa, Cuba pudo introducir el servicio de telefonía celular con la colaboración de México. Hoy existe un nuevo proveedor, que utiliza la tecnología GSM.
- Varios equipos de alta tecnología, diseñados y producidos en Cuba, incluidos la tomografía por Resonancia Magnética Nuclear (RMN), instrumentos especializados para el mapeo del cerebro y equipos de ultrasonido con aplicaciones médicas, son utilizados en el Sistema Nacional de Salud en Cuba y exportados a muchos países en todo el mundo.

CIENCIA: EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Antes de abordar nuestro principal ejemplo de creación de capacidades científicas para el logro del desarrollo económico, la biotecnología y la industria farmacéutica, permítanme destacar que en el año 2002 Cuba invirtió aproximadamente el 1% de su PIB en actividades directamente relacionadas con la ciencia y la tecnología. En Cuba existe un total de 218 instituciones dedicadas a la ciencia y la tecnología, de las cuales 118 cuentan con centros de investigación. Más de 31.400 personas trabajan en institutos especializados en la esfera de la investigación y el desarrollo. La cifra total de trabajadores vinculados a las esferas de la ciencia y la tecnología asciende a más de 64 mil, de los cuales el 52% son mujeres. De la población económicamente activa del país, 13,4% trabajan en el sector de la ciencia y la tecnología, cifra comparable con algunos países desarrollados de Europa.

Al analizar el campo de la *genética* y la *biotecnología*, es necesario recordar el equipo de científicos cubanos que en 1981 fueron capaces de producir (obtener) el interferón alfa leucocitario. El hecho de que este equipo haya podido producir lo que sólo unos pocos países desarrollados habían logrado antes condujo a la idea de que la biotecnología podía representar una línea estratégica en el desarrollo científico para un país pequeño, desprovisto de recursos naturales.

Para lograr el objetivo de crear un sector de la biotecnología que tuviese un impacto en la economía cubana, los conceptos que a continuación se relacionan resultaron ser de gran utilidad.

- Organizaciones en circuito cerrado. Las instituciones más importantes fueron estructuradas en organizaciones de investigación, producción y comercialización, en las cuales todo el ciclo, desde el dinero invertido en la investigación, el desarrollo y la producción, hasta la recuperación de las inversiones en el mercado, se

subordinó a la misma gerencia y al mismo nivel de responsabilidad. Esta estrategia reforzó el compromiso de los científicos con el destino final en la práctica del conocimiento que ellos producían, creó un impulso encaminado a la concentración de todos los esfuerzos y permitió viabilidad económica al sector durante el período de contracción económica de la década de 1990.

- Organizaciones orientadas hacia la exportación. En países pequeños como Cuba, el mercado interno no es lo suficientemente grande como para atraer las inversiones en investigación y el incremento de la producción necesarios para que los esfuerzos en la esfera de la biotecnología sean rentables. De modo que el desarrollo de los productos se efectuó con miras al mercado global. Además, esta estrategia creó una fuerza motriz capaz de mejorar los niveles de calidad.
- Propiedad intelectual. Aunque este es un tema polémico, todo esfuerzo por desarrollar productos altamente innovadores para los mercados más importantes necesita estar protegido por patentes. El esfuerzo por crear una plataforma de la propiedad intelectual cobró un mayor auge tras la entrada de Cuba en la OMC en 1995. Actualmente, las principales organizaciones de la biotecnología en Cuba son propietarias de más de 600 patentes registradas en el exterior. Esto también se corresponde con la decisión de no limitarse a los productos biotecnológicos “me-too” o “biogénicos”, sino de aumentar la competitividad en el campo de los productos innovadores. Sin embargo, esta estrategia exigía una estrecha relación entre la investigación, incluida la investigación básica, y la estrategia industrial. La existencia de esta plataforma de propiedad intelectual nos permite en estos momentos aspirar a una justa recompensa por nuestras inversiones a través de las negociaciones con compañías de países industrializados.

Cuba ha desarrollado una gran infraestructura para la industria biotecnológica, cuya génesis fue la creación en 1965 del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), que devino en generador de múltiples avances en la ciencia cubana y centro formador de destacados líderes científicos en el campo de la biomedicina.

La principal zona de desarrollo, que agrupa a más de 42 instituciones científicas de investigación, producción y comercialización, es el llamado Polo Científico del Oeste de La Habana, similar a un parque tecnológico. Permítanme brindar una información general acerca de los tres centros más modernos y mejor conocidos a nivel mundial.

El Centro de Inmunología Molecular (CIM) es una moderna organización, tanto en términos de su equipamiento como de sus re-

cursos humanos. Cuenta con un personal permanente compuesto por 425 empleados y cubre un área de 15.354 m². Su misión es utilizar y desarrollar la biología molecular con el fin de estudiar diversos tipos de cáncer y desarrollar vacunas contra esta enfermedad y anticuerpos monoclonales. Como parte de su misión, el CIM cuenta con un grupo de biofísicos teóricos que modelan antígenos y receptores celulares que están relacionados con enfermedades específicas y con el cáncer, lo cual constituye el objeto de su investigación. Asimismo, posee un vasto conocimiento y trabaja con modernas bases de datos y técnicas bioinformáticas, con las cuales se pueden llevar a cabo varias tareas, incluido el modelaje matemático de la regulación dinámica del sistema inmune.

Por su parte, en el Instituto de Investigación Carlos J. Finlay existen dos líneas de producción para vacunas humanas, una gran operación que involucra a más de 900 empleados a tiempo completo. Sus objetivos son la investigación y el desarrollo de nuevas vacunas contra el meningococo tipos B y C, la vacuna trivalente contra la leptospirosis y nuevas versiones para las vacunas regulares contra el tifus, el tétanos y las vacunas combinadas. El uso de estas vacunas en humanos, uno de los objetivos del Instituto Finlay, ha dado como resultado mayores niveles de regulación, tanto a nivel nacional como internacional.

En la actualidad, la vacuna antimeningocócica tipo B, desarrollada con el uso de tecnología nacional, se vende en América Latina –principalmente en Brasil– en el orden de las 10 millones de dosis. Las vacunas contra la hepatitis B y el dengue se encuentran en proceso de investigación y desarrollo.

En el año 2002, el Instituto Finlay le concedió a la Glaxo Smith Kline los derechos para producir la vacuna antimeningocócica cubana para territorios específicos, incluidos los Estados Unidos. El Instituto está trabajando con dicha compañía para desarrollar una nueva versión de su vacuna antimeningocócica tipo B.

Por último, el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) tiene un amplio mandato, el de aplicar la biología molecular, incluidas las técnicas de ADN recombinante y otras, a los seres humanos, la protección de la salud animal y la agricultura (biotecnología agrícola), a fin de poder aislar, reproducir y manipular fragmentos genéticos. Por este motivo, el CIGB cuenta con instalaciones muy modernas que pueden caracterizar las propiedades físicas de las moléculas y materiales a granel. Estas instalaciones incluyen la espectrometría de masa iónica, la microscopía electrónica de alta resolución y los secuenciadores de ADN.

El CIGB cuenta con un personal permanente de 1.245 empleados. Consta de dos edificios principales donde se encuentran las instalaciones dedicadas a la investigación, el desarrollo y el control de calidad, una planta de producción y dos instalaciones para animales. Cuenta

además con un laboratorio de bioseguridad nivel 3 (BSL-3) que opera a un nivel de BSL-2 y trabaja en las vacunas contra el VIH y el dengue.

La instalación de producción del CIGB posee una elevada calidad, y en dos ocasiones ha sido certificada por la Organización Mundial de la Salud como aceptable para producir y suministrar vacunas contra la hepatitis B según los requerimientos de Naciones Unidas y otras organizaciones de salud. Su próxima meta será cumplir las normas de la organización norteamericana para el control de los medicamentos –Federal Drugs Administration (FDA)– con vistas a producir fármacos para los mercados del Primer Mundo.

Es necesario destacar que estas tres instituciones cuentan con modernas instalaciones de producción que poseen controles y niveles de calidad compatibles con los que existen actualmente en el mundo. Han instalado un conjunto de terminales –con procesadores provenientes de China y otros países asiáticos– que les permiten llevar a cabo cálculos más complicados en el campo de la bioinformática. Un aspecto fundamental en todos los laboratorios de producción es la importación de los productos químicos fundamentales para diversos tipos de fermentación y procesamiento de nutrientes, muchos de los cuales provienen de Estados Unidos. Cuba se ve obligada a encontrar las vías para obtenerlos, sorteando las restricciones impuestas por dicho país, a un costo tres o cuatro veces superior, lo cual constituye otro ejemplo de las dificultades impuestas por el bloqueo.

El desarrollo de la biotecnología continúa teniendo una gran repercusión en la esfera de la salud pública, lo cual ha dado como resultado la producción de un número impresionante de productos nuevos, incluida la vacuna recombinante contra la hepatitis B; el PPG, un medicamento hipocolesterolémico; la estreptoquinasa recombinante, utilizada en el tratamiento de los ataques cardíacos; un factor de crecimiento epidérmico recombinante, utilizado para casos de quemaduras severas; los componentes de un kit diagnóstico para la detección precisa de las cepas del virus del VIH; y los anticuerpos monoclonales, utilizados para diagnósticos, por ejemplo de hepatitis C, y el tratamiento de diversas enfermedades.

Cuba es uno de los pocos países –sólo precedido por Estados Unidos, Francia, Suiza, Inglaterra y Japón– que trabaja en la creación de un candidato vacunal para la prevención del SIDA. Los niveles de desarrollo alcanzados por la industria de las ciencias de la salud en Cuba concitan admiración, y contribuyen al bienestar del mundo entero. Para tener una idea de los avances alcanzados por Cuba en esta industria de alta tecnología, con efectos significativos en el nivel de prestigio de la salud pública cubana, baste destacar lo siguiente.

- De los diez productos biotecnológicos para uso humano más ampliamente comercializados a nivel internacional, ocho son producidos en Cuba. Además de los ya mencionados, se encuentran en estos momentos en fase de prueba los interferones Alfa y Gamma recombinante, el factor estimulador de colonias de granulocitos y el factor de crecimiento interleukina 2.
- Se reportan avances en los medicamentos para la cura del cáncer y diferentes tipos de anemia, así como en la investigación y el desarrollo de vacunas contra la hepatitis C, la leptospirosis y el dengue, con resultados alentadores.
- En noviembre de 2003, el equipo multidisciplinario del Laboratorio de Antígenos Sintéticos de la Facultad de Química de la Universidad de La Habana, en el cual participan muchos científicos del Polo Científico del Oeste de La Habana, desarrolló lo que se conoce como vacuna sintética para uso humano. Las pruebas clínicas para la vacuna contra el virus *Haemophilus influenzae* resultaron ser exitosas. Varios millones de dosis se produjeron a principios de 2004 con el fin de ser distribuidas de forma masiva en todo el sistema de salud nacional.
- En otra de las ramas de la industria farmacéutica, alrededor de setenta medicamentos cubanos han sido registrados a nivel internacional, y muchos más están en proceso de registro. En Cuba se producen unos 900 medicamentos actualmente, incluida una amplia variedad de medicamentos naturales, tales como la Melagenina, utilizada para la cura del leucoderma; el Vimang, elaborado a partir de los extractos del mango y utilizado como antioxidante, analgésico y antiinflamatorio; y la Espirulina, utilizada para aliviar el estrés extremo.

Debemos señalar que Cuba posee un sistema de salud que aplica esta nueva generación de fármacos a su población. Actualmente, cuenta con 67 mil médicos, uno por cada 165 habitantes, la más baja proporción en todo el mundo, y una tasa de mortalidad infantil de 6,5‰ nacidos vivos.

BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

A continuación, presentamos unos breves comentarios en relación con las aplicaciones de la biotecnología agrícola, un campo muy importante y promisorio.

La biotecnología agrícola se desarrolla en el contexto de la agricultura sostenible y los sistemas de producción intensiva, y se aplica en los centros biotecnológicos de todo el país. Además del complejo biotecnológico de La Habana, existen los siguientes centros:

- Centro de Biotecnología de las Plantas, Universidad de Las Villas, Santa Clara. Se encarga de la micropropagación masiva de especies vegetales y la producción de plantas resistentes a las plagas mediante la ingeniería genética. Las especies con las cuales se trabaja son la papa, la caña de azúcar, el café, la fruta bomba y especies arbóreas.
- Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Sancti Spíritus. Se ocupa de la investigación, el desarrollo y la producción de medios de diagnóstico basados en anticuerpos monoclonales. Sus resultados son aplicables a la salud humana, la veterinaria y los cuidados fitosanitarios. Produce, mediante ingeniería genética, plantas resistentes a las plagas y las enfermedades, y utiliza las plantas como biorreactores.
- Centro de Bioplantas, Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila. Lleva a cabo la micropropagación masiva de especies vegetales. Mediante la técnica de la ingeniería genética, obtiene plantas resistentes a las plagas. Las principales especies con las cuales trabaja son la piña, la caña de azúcar y los cítricos.
- Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey. Produce, mediante la técnica de la ingeniería genética, plantas de boniato resistentes a los insectos. También produce en gran escala vacunas veterinarias recombinantes, así como bioproductos para la agricultura.

En el caso de la biotecnología de las plantas, los principales campos en los que actualmente existe actividad de investigación y desarrollo son los siguientes: la micropropagación de plantas; los bioproductos de nueva generación; los diagnósticos avanzados de enfermedades, basados en la inmunodetección y la biología molecular; la transgénesis de las plantas para incrementar su resistencia a las plagas, las enfermedades, la salinidad, etc.; las plantas con una mayor calidad nutricional; la genómica de las plantas; las plantas como biorreactores; la producción de anticuerpos terapéuticos y vacunas en plantas transgénicas.

Los principales logros relacionados con la biotecnología agrícola en Cuba pueden ser agrupados en dos categorías.

LA BIOTECNOLOGÍA DE LAS PLANTAS

- La micropropagación de plantas. Propagación masiva *in vitro* de cultivos agrícolas y plantas ornamentales, desarrollo de procedimientos para la propagación clonal de especies de importancia económica e instalación de 15 biofábricas con una capacidad

total de más de 60 millones de vitroplantas por año. Estas tecnologías desempeñaron un papel fundamental en la introducción acelerada de nuevas variedades de cultivo cuando la agricultura cubana se vio afectada por plagas devastadoras, por ejemplo, en la caña de azúcar y el plátano.

- Bioproductos. Productos biológicos para la agricultura. Se aplican enfoques que contribuyen a la protección del medio ambiente para combatir las plagas y las enfermedades que afectan a la agricultura. Se le ha prestado una gran atención al desarrollo de nuevos bioproductos, así como al mejoramiento de los productos ya existentes. En estos momentos se encuentran en fase de investigación y desarrollo tres líneas diferentes de bioproductos: los biofungicidas, los bioinsecticidas y bionematocidas, y los biofertilizantes.
- Plantas transgénicas. Mejoramiento genético. Las principales líneas de desarrollo están relacionadas con el uso de la ingeniería genética para la introducción de los genes responsables de la resistencia de las plantas contra las plagas y las enfermedades. Otros campos incluyen la modificación de los aspectos relacionados con la calidad industrial.
- Uso de plantas para la obtención de fármacos. Actualmente se encuentra en fase final de investigación un proyecto avanzado para la expresión de un anticuerpo para uso industrial. Otras investigaciones se encuentran en curso en estos momentos, encaminadas a la expresión en plantas de varias moléculas para uso farmacéutico y veterinario.

BIOTECNOLOGÍA ANIMAL

- Mejoras en la salud animal. Se han desarrollado varios medios diagnósticos para enfermedades establecidas o cuarentenadas, cuyo uso ha sido amplio. En estos momentos se aplican las vacunas obtenidas mediante las tecnologías tradicionales. En la agricultura cubana se está aplicando en gran escala una vacuna recombinante contra la garrapata del ganado, con lo cual se ha reducido significativamente el uso de baños químicos para controlar esta plaga, así como la infección y mortalidad causadas por los hemoparásitos.
- Manipulación reproductiva. El uso de modernas tecnologías reproductivas que contribuyan al mejoramiento y la consistencia genéticas se aplica ampliamente. Se investigan tecnologías para

el uso de animales transgénicos en la expresión de los medicamentos y fármacos recombinantes.

- Estimulación del crecimiento de los organismos acuáticos. Los organismos transgénicos y sus enfoques aún se encuentran en fase de investigación. Se estudian los procesos bioquímicos que intervienen en el crecimiento con el fin de desarrollar tecnologías que permitan la producción acelerada de peces y crustáceos.

Hemos visto los orígenes y propósitos del complejo biotecnológico cubano, que ha tenido resultados muy interesantes que se corresponden con el objetivo de utilizar las nuevas tecnologías para fomentar el desarrollo económico nacional. Su importancia económica puede apreciarse a través de los datos que se aportan. En la actualidad, este sector representa el 3% del PIB de Cuba. En el futuro, esta cifra se incrementará.

CONSIDERACIONES FINALES

Al concluir, quisiera expresar consideraciones de carácter general y relacionar algunas de las enseñanzas específicas que se derivan de la experiencia cubana.

El término “La Ciencia en el Sur” es, en muchos sentidos, un término general, pero tiene que ver específicamente con la distribución de la actividad científica en el mundo, y sus consecuencias deben preocuparnos a todos, tanto en el Norte como en el Sur.

En primer lugar, esta polarización de la actividad científica es un “problema global”, tanto como el crecimiento poblacional, las migraciones, la escasez de energía, la contaminación ambiental, el suministro de alimentos y la violencia. Es sorprendente ver con cuánta frecuencia se excluye este problema de los debates sobre las preocupaciones globales, porque la polarización de la ciencia no es sólo un problema en sí, sino que también amenaza el surgimiento de soluciones viables para el resto de los problemas.

La idea de que el conocimiento es diferente de otros recursos económicos en el sentido de que cualquier persona podría apropiarse de él libremente es en extremo “ingenua”. El uso del conocimiento –para no hablar de la generación del conocimiento– requiere recursos humanos competentes y abundantes, acceso a los canales de información, recursos organizativos, vínculos funcionales entre la academia y la industria, infraestructura de apoyo legal, capacidad de negociación, y muchos otros aspectos cuya escasez en el Sur constituye una enorme barrera, más poderosa que cualquier arancel aduanal que pudiera existir.

El conocimiento y la ciencia son el mismo problema. En el mundo de hoy, la capacidad de utilizar el conocimiento está cada vez más ligada a la capacidad de generarlo. Los modelos de transferencia del

conocimiento y las tecnologías ya no son funcionales. Lo que debe fomentarse es la capacidad científica.

El efecto práctico de la tendencia a concentrar la ciencia, más tarde o más temprano, obstaculizará el desarrollo de la ciencia en todo el mundo, tanto en el Sur como en el Norte, y estas son algunas de las razones.

La ciencia se beneficia de la diversidad de enfoques para cada problema. La diversidad de enfoques está profundamente enraizada en el carácter social de la actividad científica; está relacionada con la diversidad intrínseca de las sociedades en las cuales esta se produce y en las que se investigan los mismos problemas. La concentración de la ciencia en pocos países reducirá su diversidad y obstaculizará la necesaria sustitución de paradigmas que la hacen avanzar.

La investigación científica fue, en sus inicios, un esfuerzo esencialmente individual. Mucho menos requería la existencia de instituciones complejas, servicios estructurados de apoyo y recursos organizativos. En la actualidad, la investigación es una empresa cada vez más colectiva.

La ciencia moderna surgió en las naciones industrializadas, en un ambiente de libres intercambios, publicación anticipada y coparticipación altruista de los resultados. No existía nada similar a nuestro actual sistema de protección a la propiedad intelectual, apropiación privada del conocimiento, relación científica básica con los secretos industriales, etcétera.

Esta lista podría ser mucho más larga, pero basta para demostrar que el intento de repetir –más de un siglo después– la experiencia del desarrollo de la ciencia y la tecnología en las naciones industrializadas es una estrategia equivocada. Y esta, precisamente, es la estrategia esencial de muchos sistemas de cooperación internacional.

Por tanto, la cooperación entre el Norte y el Sur debe comprenderse y establecerse de la siguiente forma.

Debe proporcionar proyectos de investigación conjuntos; el intercambio de personas debe ser una consecuencia de ello, y no el desarrollo individual. Debe estar encaminada al desarrollo de instituciones o, al menos, de equipos de investigación.

Generalmente, los programas de cooperación incluyen alguna forma de coparticipación de la información. Pero dicha información ha de ser compartida por todos los participantes a través de los canales establecidos para ello. Por lo general, los sistemas de cooperación son académicos, pero deben combinar los componentes académicos e industriales y ser capaces de influir en la tecnología y la economía.

Los sistemas de cooperación con los países en desarrollo no deben centrarse solamente en los problemas locales. Asimismo, deben es-

timularse los proyectos de investigación de avanzada que concitan el interés universal.

Pero, quizás, la percepción errónea más significativa es ver la cooperación científica entre el Norte y el Sur como una ayuda a los países en desarrollo, en vez de como un enfoque conjunto de un problema global que afectará a todos, y cuya solución proporcionaría ventajas a todos.

En relación con la experiencia cubana, como ya ha sido mostrado en la presentación, consideramos importante subrayar lo siguiente.

Una base muy importante para el uso de la ciencia y la tecnología en el desarrollo de la economía nacional fue la posibilidad de disponer de un gran número de trabajadores con una sólida educación mínima, capaces de aprender con rapidez las nuevas tareas y participar activamente en ellas junto a los científicos, los tecnólogos y los técnicos, e, incluso, ser creativos en su trabajo.

En cuanto a la creación de capacidades, Cuba ha fomentado una serie de instituciones educativas e investigativas de excelencia que han dado un gran impulso a las ciencias básicas y la tecnología en varios sectores.

El país ha desarrollado una masa crítica de científicos y técnicos, que son los recursos humanos fundamentales capaces de asimilar los últimos conocimientos, siendo el Complejo Biotecnológico un ejemplo de esto.

Finalmente, como bien se puede apreciar, Cuba, privada de la posibilidad de importar lo más novedoso que existe en el mundo de la ciencia y la tecnología, se ha visto obligada a modernizar su infraestructura tecnológica y seguir sus propias líneas de desarrollo, basando sus esfuerzos en su principal y único recurso, el potencial humano. Ha sido un esfuerzo decidido y constante, y hay muchos resultados positivos que mostrar en el campo de las tecnologías tradicionales y modernas.

En realidad, es innegable –y al propio tiempo estimulante– que el desarrollo de la ciencia y la tecnología en Cuba, componente esencial de la cultura de su sociedad y resultado de su trabajo perseverante, haya tenido como base fundamental una idea central de José Martí, relacionada con el desarrollo de la humanidad: “ser cultos para ser libres”.