



La física *vitae* cubana. Sinopsis antes de la COVID-19

Carlos Cabal Mirabal ^{1,2,*} <https://orcid.org/0000-0002-2506-9253>

Rodolfo Alfonso La Guardia ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6082-7665>

Kalet León Monzón ^{3,2} <https://orcid.org/0000-0002-3709-7091>

¹ Universidad de La Habana. La Habana, Cuba

² Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, Cuba

³ Centro de Inmunología Molecular. La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: carlos.cabal@fisica.uh.cu

Palabras clave

física; medicina; tercera revolución en la biología; convergencia tecnológica

RESUMEN

Las razones por las que la medicina y la biotecnología son de importancia fundamental en Cuba constituyen objeto de debate. Las causas sociales, económicas e históricas se presentan divididas en los períodos colonial, neocolonial y revolucionario (después de 1959). En estos contextos, se discute la contribución del profesional y la influencia de las instituciones más importantes en la creación de tradiciones biocientíficas. Asimismo, se hace referencia a la contribución de la comunidad de físicos al desarrollo de la investigación biotecnológica y farmacéutica. Se mencionan dos de los más grandes proyectos en los que la física realiza una contribución fundamental, se propone revisar los enfoques investigativos en el campo de las ciencias biológicas en Cuba, de acuerdo con las tendencias internacionales de la convergencia tecnológica. Se debaten nuevos enfoques sobre la tercera revolución en la biología, así como las ventajas de su puesta en práctica. Se reexaminan aspectos fundamentales del sistema de educación superior cubano en relación con carreras científicas y con el funcionamiento del sistema científico nacional. Se exponen algunos de los riesgos principales para el futuro del desarrollo científico nacional.

Cuban *vitae* physics. Synopsis before COVID-19

ABSTRACT

The question why medicine and biotechnology have higher importance in Cuba is discussed. The social, economic and historical causes are presented divided into the colonial period, the neocolonial period and the period after the Cuban Revolution in 1959. In these contexts, the contribution of the dissimilarity professional and the influence of the most important institutions creating bioscience traditions are discussed. The contribution of Physics community to the development of biotechnology and pharmaceutical research is noted. Two of the biggest projects in which Physics had a preponderant contribution, that is, the MRI

Keywords

physics; medicine; third revolution in biology; technological convergence



Cuban system and the international extension of high medical technology in the Imaging and Ophthalmology branches are mentioned. New views are debated concerning the third revolution in biology and advantages of its implementation. Fundamental aspects of the Cuban higher education system for scientific careers and for the functioning of the National Scientific system are reexamined, presenting some of the principal risks for the future of national scientific development.

LOS PORQUÉS DE LA BIOMEDICINA Y LA BIOTECNOLOGÍA EN CUBA

Las Ciencias de la vida han ocupado un sitio reconocido en Cuba y el mundo. Sus aportes científicos tecnológicos, económicos, sociales y culturales son un hecho.

Casi de inmediato surge la pregunta ¿por qué la medicina, la biología y la biotecnología han podido escalar hacia esos niveles relativamente altos, con contribuciones científicas, tecnológicas, económicas, sociales y culturales? La respuesta no es directa ni puede ser definitiva, tiene muchas aristas no suficientemente sistematizadas en la trama histórica, donde se combinan factores humanos individuales, con el desarrollo de las instituciones, en el contexto socio económico e histórico nacional e internacional.

Sin embargo, la formulación de la pregunta, y una aproximación a la respuesta, tienen sentido para comprender la evolución e interrelación de estas ramas de la ciencia. Más aún, una mirada retrospectiva de lo que han sido la política y quehacer científicos, es esencial para percibir los rasgos cardinales de las fortalezas y debilidades, imprescindibles a tener en cuenta para el ulterior desarrollo de la ciencia en nuestro país.

Pretendemos en estas breves páginas hacer, no un estudio, más bien un bosquejo de estas ideas mirándolas sobre todo desde la perspectiva de la física, como ciencia básica estrechamente relacionada con los aportes de la ciencia de la vida, en Cuba y el mundo.

Lo cierto es que existieron condiciones a lo largo de toda la historia de Cuba que propiciaron el desarrollo relativo de la medicina y ramas afines por encima de las otras ciencias. No obstante, las ciencias naturales, y en particular la física, asistieron a esos procesos en la medida en que su propio desarrollo lo permitió.

Solo para ilustrar esta afirmación, mencionaremos algunos de los factores que nos parecen esenciales.

Socioeconómicos y geográficos

Determinante han sido los factores socioeconómicos asociados a la dependencia colonial de Cuba desde el siglo

XVI hasta finales del siglo XIX. El progreso económico, educacional, cultural y científico del país tuvo que enfrentarse, no solo a las barreras levantadas por los gobiernos coloniales, sino también al atraso creciente en que se encontraba sumergida la propia metrópoli. Las ciencias naturales se veían limitadas en su desarrollo por la dependencia y por razones socioeconómicas internas.

Los intereses económicos surgidos desde finales del siglo XVIII, hacen que la burguesía azucarera logre introducir en los planes de estudios materias vinculadas con la agricultura, los suelos, los cultivos, la botánica, la fabricación de azúcar y la química, en su joven y única Universidad. Cuba estaba marcada por el monocultivo y la monoproducción primero de madera, y sucesivamente azúcar de caña, tabaco y ron. No obstante, como se afirma: "La medicina, por sus contactos con las ciencias naturales de una parte, y de otra como medio de conservación de la fuerza humana de trabajo recibe un fuerte apoyo y, en consecuencia, el mayor progreso de esa época".⁽⁴⁾

Los años de la seudorrepublica, con la frustración de la Guerra de Independencia y la presencia de Estados Unidos, se caracterizó por un raquítico desarrollo científico, una creciente dependencia tecnológica, con pocas instituciones científicas y escasos ilustres creadores que, a lo largo de los siglos de dependencia colonial y neocolonial, prestigiaron el quehacer intelectual y científico de la nación cubana que germinaba y se consolidaba.

Personalidades e instituciones científicas

En 1673 ya se había publicado el primer libro de carácter científico escrito en Cuba "El Arte de Navegar" obra del médico Lázaro Flores quien culminó sus estudios en la Universidad de Sevilla, España, después de lo cual vino a residir y ejercer la profesión en la Isla. El mérito más importante del libro es que se apoya en la doctrina de Copérnico y en las leyes de Tycho Brahe sobre el movimiento de las estrellas.⁽⁴⁾ En 1787 se edita el primer libro científico cubano impreso en Cuba obra de Antonio Parra "Descripción de algunas piezas de Historia Natural de la Isla de Cuba".⁽⁴⁾ Décadas antes en 1723 se había introducido

la imprenta en La Habana. Solo dos ejemplos para ilustrar un hecho significativo: a lo largo de la breve historia de la ciencia cubana se reitera que médicos, farmacéuticos, bioquímicos incursionan en otras ramas de saber científico. También es distintivo que muchos profesionales formados en universidades europeas retornaran a Cuba a ejercer creadoramente.

En 1728 se funda La Real Universidad Pontificia de San Gerónimo de La Habana con sus primeras tres Facultades de Teología, Leyes y Medicina. Décadas más tarde en 1793 surge la Sociedad Económica de Amigos del País, quien propicia un movimiento cultural y científico de avanzada fuera de las instituciones de la corona española en Cuba. ^(4,5)

Casi un siglo más tarde la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, es aprobada por la corona española en 1861 después de décadas de luchas de los más ilustres intelectuales y científicos cubanos. No parece ser casual el nombre de la primera academia de ciencias fundada en este hemisferio. Hechos posteriores se han encargado de justificar aquella conexión entre las ciencias definidas en el nombre de la Academia, institución que, sin dudas, influyó de algún modo en la incipiente nacionalidad cubana, fomentando las ideas científicas, favoreciendo la formación de una intelectualidad criolla e incrementando los intercambios con el extranjero. ⁽⁴⁻⁶⁾

En la época varias personalidades resaltan por sus obras, por su influencia en la formación de los alumnos, la defensa del método de educación científica y por su divulgación de los acontecimientos científicos y tecnológicos de aquel tiempo. El insigne pedagogo José de la Luz y Caballero, quien sembró una ética humanista y racional en el pensamiento y la acción, en 1832, da a conocer su trabajo sobre el magnetismo terrestre. El padre Félix Varela, precursor de ideas avanzadas de su tiempo, defensor de la dignidad y la soberanía de Cuba, quien enseñara a pensar a los cubanos, fue el fundador de la cátedra de física moderna, cuya enseñanza llevó hasta los niveles más avanzados de su tiempo. A partir de Varela el sistema copernicano quedó integrado en la enseñanza de la física experimental de modo tal que su discípulo y sucesor José Antonio Saco, figura cimera de la cultura científica cubana de aquel período, da a conocer experimentos y explicaciones a sus alumnos en el capítulo de Astronomía ⁽⁴⁾ en su obra *El Estado de las Ciencias Físicas de La Habana en los años 1823 y 1824*. ¡Cuánto a favor del método científico! ¡Cuánto contra la escolástica existente en aquel mundo!

Tomás Romay Chacón con la introducción y difusión de la vacuna antivariólica en Cuba. Felipe Poey Aloy, fundador de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana y de la Sociedad Antropológica de Cuba, creador de los Gabinetes y cursos de Zoología, Botánica, Mi-

neralogía. Álvaro Reynoso Valdés, Doctor defendido en París, introductor de las ideas de química fisiológica en los cultivos, en particular en la caña de azúcar, por lo que se le considera el padre de la agricultura científica cubana. Carlos Juan Finlay Barrés, quien demostró que el agente trasmisor de la fiebre amarilla es el mosquito. El propósito de estas líneas no es establecer un orden cronológico, ni siquiera mencionar a todas las grandes personalidades de la intelectualidad y la ciencia cubanas. Son más los omitidos que los nombrados. Eso sí, ¡maravilla hoy percatarse de la esencial simbiosis que, en los precursores del pensamiento nacional, tenía la sabiduría, la ética, la creación y utilidad; ciencia soberanía y cultura como un todo!

Triunfo de la Revolución

En 1959, la colosal voluntad política sienta las bases de la emancipación plena del hombre con la obra educacional y cultural, iniciada a partir de la alfabetización masiva en 1961. Un año antes, Fidel había enunciado el núcleo de la estrategia para el progreso científico de nuestro país: “el futuro de Cuba ha de ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, de hombres de pensamiento”. ⁽⁷⁾ Idea que arremete contra una de las más perniciosas herencias de la colonia y el subdesarrollo: el casi generalizado sentimiento, aún latente en hombres y mujeres, de creerse incapaces de ser dueños de sus destinos, subestimando lo propio y sobrevalorando lo foráneo.

Tuvo que pasar un siglo de luchas emancipadoras contra el desamparo a la intelectualidad y la ciencia, para que las palabras escritas en 1861 por Carlos Manuel de Céspedes en el prólogo de un libro de poesía, tuvieran las condiciones sociales para su materialización:

Hace mucho tiempo que se está repitiendo hasta la saciedad que la inteligencia de los hijos de la Isla de Cuba es más a propósito para la poesía que para las demás ramas de la literatura aún menos para las ciencias. Los pocos hombres celebres que la Isla de Cuba ha producido en las demás ramas de los conocimientos humanos, son bastante conocidos y en número suficiente para asegurar que el día en que nuestra sociedad haya progresado como lo prometen su índole y brillante prospectos; el día en que los vigilios del sabio le den gloria, poder, riquezas, sobran talentos que eclipsen los más ilustres de las pasadas eras y las bibliotecas del universo se llenaran de obras grandes y originales escritos (por los cubanos). ⁽⁸⁾

Esta idea de Céspedes subraya la noción de la ciencia cubana, incipiente aún, como componente del patrimonio cultural de la nación y como elemento emancipador.

La fuga de más de 3000 médicos de los 6000 existentes, que estaban desigualmente distribuidos por el archipiélago cubano, constituyó un reto para la naciente Revolución y sus programas sociales donde el hombre era el centro de atención. Ello sin dudas fue un acicate para la formación masiva de médicos y de personal para la salud (enfermeras, técnicos...) y para la estructuración de un sistema de salud gratuito y masivo. Todo ello fue posible por la latente tradición en el campo de la medicina.

Las revoluciones del conocimiento

La dependencia colonial con una metrópolis en decadencia impidió que Cuba pudiera participar en la revolución industrial, reduciéndose a ser beneficiada con la introducción limitada del ferrocarril y de la máquina de vapor para la producción azucarera.

Sucedieron otras revoluciones, entre ellas la de las Ciencias Naturales con el descubrimiento de las leyes electromagnéticas, la tabla periódica de Mendeléyev, el efecto fotoeléctrico, la física atómica y nuclear, las teorías de la relatividad, entre muchos otros hallazgos de finales del siglo XIX y principios del XX. Cuba desgastada por la guerra de independencia, por la intervención norteamericana, con más de un millón de analfabetos, sin instituciones científicas sólidas, tampoco pudo participar ni en las revoluciones del conocimiento, ni ser beneficiada efectivamente por ellas.

Sin embargo, las conquistas de las ciencias de la vida cubanas (medicina incluyendo la veterinaria, las agrícolas, las asociadas con la preservación y desarrollo del medio ambiente), en particular de la biotecnología, son consecuencias de la combinación adecuada y simultánea de varios factores: la voluntad política del líder del proceso revolucionario cubano, las tradiciones de la biomedicina cubana, la existencia de una masa crítica de expertos comprometidos con ese gran proyecto, y la ejecutoria, efectiva y dinámica, de destacados líderes científicos; todo ello concomitante temporalmente con las revoluciones en la biología. Se pudiera aseverar que la coincidencia de las revoluciones del conocimiento en la biología con el proceso de transformaciones sociales y la real existencia de voluntad política han sido factores de éxito de la biotecnología y la biomedicina cubanas.

LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA BIOLOGÍA CUBANAS

La enseñanza de las ciencias naturales, y en particular la física, en todos los niveles escolares hay que marcarlo como un decisivo factor de éxito para el desarrollo de la biología cubana. La existencia de buenos profesores de ciencias naturales en la enseñanza media en las décadas de los años 60 al 80, la

creación paulatina de pre universitarios de ciencias exactas, así como la introducción de la física y la biofísica en los planes de estudios de medicina y biología, son elementos positivos que coadyuvaron a crear un clima científico naturalista en la comunidad de estudiantes y profesores de esas especialidades. Muchos de ellos luego fueron líderes científicos y profesionales distinguidos dentro de la medicina y la biotecnología cubanas.

Desdichadamente los autores no pueden apuntar datos o cifras que evidencien el real impacto este factor. Sin embargo, han existido emprendimientos concretos que patentizan lo anterior, referidos a la creación de libros de textos especializados para las comunidades biomédicas.

En 1968, el físico Dr. Soto del Rey, en la Universidad de Oriente (UO), comienza a impartir física a los estudiantes de los primeros años de medicina, e inmediatamente se percata de que el método con que se impartía la asignatura había que adecuarlo a los intereses de los alumnos, creando la asignatura de física para médicos.⁽¹⁰⁾ Por la aceptación del curso los profesores solicitaron que se impartiera como postgrado. Posteriormente, ya en la década de los setenta, Soto del Rey imparte física a los estudiantes de biología con la misma concepción. Como resultado de estos cursos en 1988 la Editorial Oriente publicó cuatro tomos de su obra titulada *Introducción a la Biofísica*.⁽¹¹⁾ Soto siempre tuvo la visión y la concepción de que, en la realidad cubana, y sobre todo la oriental, el físico tenía que tener dos alineaciones, una era la física técnica y la otra la física biológica, como él la llamaba. Ahí es donde hay que buscar una de las causas del surgimiento de los Centros de Biofísica Médica (CBM), Biotecnología Industrial, Electromagnetismo Aplicado, este último con una de sus salidas hacia las aplicaciones biológicas, todos ellos de la UO.

Muestra de este proceso de acercamiento entre la biología y la física, paulatino y en gran medida espontáneo, fueron los emprendimientos de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana (UH) por ejemplo el de Frank Coro⁽¹²⁾ "Fisiología Celular, Un enfoque Biofísico" que aparecieron en el año 1996. Esta vez la aproximación fue desde la biología hacia la física.

Las modificaciones de los planes de estudio, unido a graves incomprendiones, introdujeron reducciones primero, y luego la desaparición de las asignaturas que fortalecían la formación de ciencias básicas de los médicos, lo cual en las circunstancias del desarrollo contemporáneo de las ciencias de la vida nos pone en franca desventaja, algo que debería enmendarse.

LA FÍSICA, LAS BIOCIENCIAS Y LA BIOTECNOLOGÍA CUBANAS

Los nexos de la física con las ciencias de la vida, fundamentalmente con la biomedicina y la biotecnología en Cuba

(en mucho menor medida con las ciencias agrícolas y veterinarias) ocurren de manera diversa. En Cuba la mayoría de los casos, los físicos que han trabajado para la biomedicina y la biotecnología se han desenvuelto en una matriz de profesionales no físicos y han constituido una membresía minoritaria. Estos nexos tienen lugar desde ángulos disímiles:

- Desde instituciones científicas no pertenecientes al sistema de salud ni al sistema de la biotecnología cubanos. En primer lugar, las facultades universitarias formadoras de físicos en la UO, la Universidad Central de Las Villas, el Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas (INSTEC) y la Facultad de la UH. En segundo lugar, un conjunto de centros de investigación tales como el CBM, Electromagnetismo Aplicado ambos de la UO, el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear y el Instituto de Cibernética, Matemática y Física adscriptos al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Estas instituciones y sus físicos han mirado y establecido ligaduras con los problemas biológicos desde el punto de vista de la física teórica, experimental y tecnológica. No obstante, estos nexos no han respondido a una política nacional coherente.
- Desde el interior de instituciones del Ministerio de Salud Pública (MINSAP) destacándose los servicios de medicina nuclear, radioterapia y radiocirugía, los de imágenes médicas presentes en varias importantes ciudades del país. Estos representan la cifra mayoritaria de físicos dedicados a la física médica. El centro de atención de los físicos en el MINSAP, está notablemente desplazado a garantizar servicios de alta calidad, aunque muchos se interrelacionan con los centros de investigación y las Universidades, con una actividad científica y de postgrado destacada. (epígrafe de física médica)
- Desde el interior de sistema de la biotecnología (hace pocos años BioCubaFarma) en centros como el de Inmunología Molecular, de Neurociencias, Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) y en mucho menor medida el centro de Inmunoensayos y el Instituto Central de Inves-

tigaciones Digitales (ICID); estos dos últimos dedicados casi totalmente al desarrollo y producción de equipos y software médicos. En todos ellos la matriz de profesionales ha sido mayoritariamente biológica.

Los aportes de la física a la biotecnología cubana son más tácitos que explícitos, menos tangibles que en el caso de la biomedicina. Están más presentes en la formación básica de los investigadores dedicados a la biotecnología, en los métodos físicos utilizados en las investigaciones y en el liderazgo científico que algunos físicos destacados han jugado al frente de proyectos y otros emprendimientos, aun cuando su "centro de gravedad" profesional se haya desplazado necesariamente hacia la biología.

Hay que destacar algunas personalidades en este quehacer, como Rolando Pérez, del Centro de Inmunología Molecular (CIM), quien, conservando su formación física, irrumpió profundamente en la biología del cáncer (Figura 1). Otro más joven, como Kalet León, también del CIM desde la física, fundamentalmente mediante la modelación físico matemática, ha penetrado en el mundo biológico. El CIM ha sido el centro con una mejor comprensión, proyección y ejecutoria del papel de las ciencias básicas en el desarrollo de la biotecnología cubana de los pertenecientes a BioCubaFarma. Otro físico destacado es el Dr. Alexis Musacchio, del CIGB, experto en métodos físicos de estructura y caracterización de proteínas, manteniendo su centro de acción intermedio entre la biología, la química y la física.

La neurofísica ha sido un importante emprendimiento; un grupo que se ha formado y desintegrado sucesivamente, liderado por el médico matemático Dr. Pedro Valdés Sosa, uno de los fundadores del Centro de Neurociencias de Cuba. Sin embargo, este colectivo ha logrado una visibilidad científica internacional relevante y constituye un ejemplo de investigaciones en la frontera entre varias de las ciencias fusionadas para los estudios del sistema nervioso central. Es meritoria la conexión conseguida entre las investigaciones básicas y los desarrollos de equipos de neurofisiología con relativo alto valor agregado.



Fig. 1. Centro de Inmunología Molecular. Locales de producción e investigación.

Es destacable que los profesionales graduados en el INS-TEC han sido un pilar para el desarrollo de la Biotecnología y la biomedicina, en particular la física médica. En los tres grupos mencionados dentro y fuera de los sistemas de Salud y la biotecnología, el desarrollo de la física, de las líneas de investigación, los nexos entre instituciones, más que a una política nacional concertada, direccionada y coherente, han respondido a la espontaneidad, la intuición, a los intereses de instituciones, de líderes científicos e investigadores individuales.

Ante el crecimiento de la participación y aportes de los físicos al desarrollo de las ciencias de la vida, se creó en 1993 la Sección de Biofísica y Física Médica dentro de la Sociedad Cubana de Física.

Físicos diseñan inmunoterapias contra el cáncer

En 1994, en medio de la mayor crisis económica que haya sufrido Cuba, fue inaugurado por el comandante Fidel Castro Ruz el CIM en La Habana. Su primer director general, el reconocido Dr. en Medicina y Oncólogo, Agustín Lage Dávila, fomentó la creación de un colectivo con médicos, biólogos, químicos, matemáticos, ingenieros y también físicos. Agustín, consciente de la complejidad inherente a los sistemas biológicos, apostó a la multidisciplinariedad para desarrollar novedosas terapias contra el cáncer. En particular, estrategias terapéuticas basadas en manipular el sistema inmunitario de los pacientes e inducir una especie de respuesta autoinmunitaria que destruyera las células tumorales.

A este empeño se integraron con entusiasmo varias generaciones de físicos cubanos a lo largo de los años. Cada uno de ellos con su propia impronta y más o menos apegado a su formación de base. Varios llegaron a ocupar posiciones significativas en la dirección del CIM, contribuyendo al indiscutible éxito científico, económico y sobre todo social, que ha alcanzado esta institución de la biotecnología cubana. En particular el ya mencionado Dr. Rolando Pérez, licenciado en física en la UH y primer director de investigación y desarrollo (más de 15 años). El Dr. Ernesto Moreno, físico nuclear y primer jefe del grupo de bioinformática y biología estructural. Los doctores Normando Iznaga y Adolfo Castillo, también físicos nucleares que ejercieron como primer director clínico y primer director de desarrollo de productos respectivamente. Por último, el Dr. Kalet León, licenciado en física de la UH y actual director general para investigación y desarrollo.

En el contexto del CIM los físicos adquirieron una fuerte formación en temas biológicos. Algunos llegaron a dominar la inmunología, la biología tumoral y la fermentación de células superiores, tanto como sus pares con formación biológica de base. Esto sin embargo no los hizo menos físicos, si no que les permitió hablar un lenguaje común con sus colegas y for-

mular preguntas desde una perspectiva diferente. En muchos casos este enfoque contribuyó a exitosos aportes científicos y tecnológicos. Se pudieran mencionar al menos dos:

- El desarrollo de una tecnología propia para la humanización de anticuerpos monoclonales. Esta plataforma usaba metodologías bioinformáticas, novedosas en su momento, para modelar computacionalmente la estructura espacial 3D de los anticuerpos monoclonales y la predicción de posibles epítopes para el reconocimiento por células T. Esta tecnología fue patentada por el CIM, se utilizó con éxito en varios de sus anticuerpos monoclonales y más aún fue licenciada comercialmente a empresas extranjeras.
- La inclusión de varias proteínas ingenierizadas en la carpeta de productos originales del CIM. En particular dos variantes mutadas de la interleucina 2 y una de TGFbeta. Los principios de diseño para las dos variantes de la IL2 fueron inicialmente predichos, en un modelo matemático de la regulación del sistema inmunitario. Las mutaciones puntuales que se introdujeron finalmente en la molécula nativa de IL2 y de TGFbeta, fueron también predichas *in silico*, pero usando técnicas bioinformáticas para estudiar/caracterizar la interacción entre proteínas. Los productos obtenidos de estos empeños están hoy en diferentes estadios de desarrollo. El más avanzado de ellos la variante mutada de IL2 no-alfa está comenzando su investigación clínica fase I en Cuba. La misma fue incluida entre los productos seleccionados por una empresa de Estados Unidos para fundar con el CIM una nueva empresa mixta localizada en la zona especial de desarrollo de Mariel.

De seguro el futuro sumará muchos más ejemplos a esta lista. En la actualidad el CIM mantiene un equipo pequeño de físicos vinculados a la investigación y desarrollo de nuevos productos. Mantiene también fuertes lazos de colaboración con la Facultad de Física de la UH y asimila/desarrolla nuevas metodologías de interés internacional.

LA FÍSICA MÉDICA

Una de las áreas donde la física aplicada ha tenido un desarrollo más significativo en las últimas décadas ha sido en las aplicaciones médicas. Esto, motivado en gran medida, por el adelanto vertiginoso de las tecnologías de avanzada, de base fundamentalmente física, introducidas en la medicina. El desarrollo alcanzado en los sistemas de imágenes, como los equipos de tomografía computarizada (TC), de imágenes por resonancia magnética (IRM), de tomografía por emisión

de positrones (PET), así como en la radioterapia, ha hecho que los físicos médicos sean reconocidos hoy día como profesionales imprescindibles para asegurar diagnósticos y tratamientos óptimos y seguros. De acuerdo a estimados de la Organización Mundial de Física Médica (IOMP) en el 2018 habría en el mundo unos 30 000 físicos médicos (FM).⁽¹⁴⁾ Podría asegurarse que la FM es de las ramas de la física sujeta a más regulaciones y normativas nacionales e internacionales.

Dependiendo de la actividad que realizan, se puede hablar de dos tipos de profesionales en FM:

- FM clínicos, quienes trabajan en instituciones hospitalarias o médicas, donde desempeñan labores asistenciales, docentes y de investigación, para lo cual han recibido un entrenamiento clínico supervisado en FM.
- FM no-clínicos, quienes desempeñan labores docentes y de investigación académica en universidades y laboratorios.

El físico médico en Cuba

La situación del reconocimiento y formación de los FM en Cuba no difiere significativamente del resto de los países de América Latina. En nuestro país, desde mediados de los años 60, profesionales en física comenzaron a trabajar en el campo de la radioterapia y la medicina nuclear, de manera que se fue estableciendo un grupo con habilidades en las técnicas de planificación y dosimetría desde aquellos años. Desde la década del 80 se establece por el MINSAP el requerimiento de disponer de FM en los servicios de radioterapia y medicina nuclear que se iban inaugurando a lo largo del país. Esta medida fue acompañada por la creación del calificador de cargo de especialista en FM. Como resultado de esta política, a mediados de los años 90, Cuba constituía uno de los países de América Latina con mayor proporción de FM con relación a la cantidad de equipos de radioterapia y, sobre todo, en medicina nuclear. En esta última especialidad, la proporción de FM en nuestro país sigue siendo la más alta de la región, gracias a la estrategia estatal de fomentar y exigir su presencia en esta área. Sin embargo, estos profesionales, la mayoría de los cuales provenía de carreras nucleares (físicos o ingenieros nucleares), adolecían en aquel momento de una formación de posgrado especializada en FM, como recomiendan el OIEA y la OPS, debido a la inexistencia en Cuba de estos programas.

Un paso de retroceso ocurre en el 2009, durante el proceso de actualización de los calificadores de cargo del MINSAP, cuando se elimina el cargo de especialista en FM, remplazándose por el de especialista en radio física y radio farmacia, cuyas funciones y responsabilidades eran muy diferentes a las de un FM. Esta medida contribuyó negativamente al reconocimiento de la profesión, alejando la posibilidad de su

aceptación como profesional de la salud. Luego de intensas gestiones de la Sección de Biofísica y Física Médica de la Sociedad Cubana de Física, el Ministerio del Trabajo y Seguridad Social retoma el cargo de Especialista de FM.

A pesar de estos problemas de reconocimiento de la profesión, no cabe duda que la contribución de los FM cubanos al desarrollo de especialidades médicas como la radioterapia y la medicina nuclear, ha sido trascendental. Uno de los logros importantes fue el aporte a la digitalización de las cámaras gamma analógicas existentes en el país, a través del proyecto IMAGAMMA. Esta contribución ha sido reconocida por el OIEA, por el tributo a los proyectos de cooperación técnica de esta organización en países como Bolivia, Ecuador, Venezuela y Colombia. En el caso de la radioterapia, los resultados han sido igualmente relevantes, especialmente con el desarrollo local de sistemas computarizados de planificación, que han permitido elevar la calidad y seguridad de los tratamientos radioterápicos basados en imágenes. Los FM cubanos han contribuido de forma esencial en la definición de las tecnologías avanzadas que se han adquirido en el campo de la medicina radiológica; han llevado a cabo la aceptación y puesta en servicio clínico de dichas tecnologías, incluyendo aceleradores lineales de alta gama, sistemas de imágenes híbridos y sus herramientas informáticas avanzadas. Han sido, además, fundamentales para mantener estos equipos, brindando asistencia médica con los altos estándares internacionales que aseguran su empleo eficiente y seguro. Sin la presencia de los físicos en los servicios de radioterapia y medicina nuclear, la puesta en marcha y utilización segura de estas tecnologías hubiera sido imposible.

La institución en Cuba que ha promovido y centrado la formación de posgrado de los FM ha sido el INSTEC, el cual, en 1999, abrió la primera edición de un diplomado en FM, curso que sirvió de base para la primera versión de la maestría en ciencias en FM, iniciada en el 2004, graduando a 24 estudiantes en 10 años. Este programa fue cerrado en el 2014 y en diciembre de 2017 fue aprobada su reapertura con 20 estudiantes, en su mayoría físicos que se desempeñan en servicios de radioterapia, medicina nuclear o radio-protección del Sistema Nacional de Salud.

El MINSAP también ha contribuido a la formación de posgrado a través de 2 programas de diplomado, 1 en física de radioterapia (inicia en 2003) y otro en física de medicina nuclear (iniciado en 2007).

A través de estos programas se han defendido ya 5 tesis doctorales afines a este campo. Indiscutiblemente, el mayor desarrollo y producción científica ha tenido lugar en el campo de la medicina nuclear, con grupos fuertes en el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR), el

Hospital Hermanos Ameijeiras y el Centro de Investigaciones Clínicas.

Actualmente, en todas las regiones del país donde existen servicios de radioterapia o medicina nuclear activos, se cuenta con la presencia de FM. El número de ellos, luego de un incremento estable en las décadas de los 90 y 2000, ha mostrado un estancamiento, en parte, debido a la falta de reconocimiento profesional, la no existencia de programas adecuados que los incentiven y a la competencia de otros sectores profesionales más atractivos desde el punto de vista salarial.

La física médica en América Latina

En la última década, América Latina no ha estado ajena a la evolución acelerada de las tecnologías con aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes, tanto con fines diagnósticos como terapéuticos. En diversos países los gobiernos han impulsado programas de ampliación de la cobertura de servicios de radioterapia y medicina nuclear, mediante la compra de gran cantidad de equipos con tecnologías avanzadas, como aceleradores con prestaciones sofisticadas (IMRT, VMAT, SBRT, IORT, etc.), sistemas de imágenes híbridas (PET-CT, SPECT-CT, PET-MR, etc.). Paralelamente, la iniciativa privada ha venido introduciendo y desarrollando tecnologías autóctonas de punta en muchos países de la región, incluso en algunos pequeños, donde el salto tecnológico respecto a lo existente ha sido llamativo.

Por otra parte, la elevación del rigor y exigencia de los organismos reguladores nucleares de nuestros países, hace mucho más compleja y demandante todas las tareas y funciones relativas a la protección radiológica de estas prácticas. Estas, entre otras razones, han implicado que la demanda de estos profesionales crezca continuamente en los países de la región.

Por ello, aunque en este mismo período se han abierto nuevos programas de formación académica, tanto a nivel de pregrado como posgrado, el acceso a profesionales debidamente capacitados y entrenados para enfrentar esta avalancha tecnológica sigue siendo insuficiente, manteniéndose la amenaza de incremento de la brecha entre la disponibilidad tecnológica y de recursos humanos calificados.

La mayoría de los programas de maestría de la región, no cuentan con el suficiente número de horas de práctica clínica supervisada para poder cumplir con los requisitos mínimos de formación exigidos. Varios programas han intentado establecer la modalidad de Maestría profesional o especialidad en FM, pero se han enfrentado con la dificultad de ubicar a sus estudiantes en departamentos clínicos, al no existir plazas para ellos, ni asignación de tiempo para este fin a los potenciales supervisores de los entrenamientos.

Colaboración internacional cubana en física médica

Durante 30 años, más de 25 FM cubanos han brindado su contribución, en servicios de radioterapia de 11 países de América Latina y el Caribe: Costa Rica, El Salvador, Nicaragua, Panamá, R. Dominicana, Jamaica, Trinidad Tobago, Guyana, Surinam, Venezuela y Ecuador, y en 3 de África: Argelia, Angola y Zimbabue. En algunos casos, esta colaboración ha garantizado, durante períodos largos (en casos como Costa Rica, Nicaragua o Argelia, por más de 5 años) el adecuado y seguro funcionamiento de servicios públicos de radioterapia de estos países.

Físicos cubanos altamente cualificados forman parte de los paneles de expertos y consultores del OIEA, la OPS, el ICTP y otros organismos internacionales, a través de los cuales han efectuado cientos de misiones de asesorías cortas, contribuyendo a la capacitación de otros, a la asimilación de nuevas tecnologías, a la puesta en marcha de equipos, elevación de la seguridad radiológica y la calidad de la asistencia en la Medicina Radiológica.

GRANDES PROYECTOS

Los físicos han participado de manera destacada en el desarrollo de proyectos trascendentes para la salud, situados en la frontera entre la física, la ingeniería y la medicina, imprescindible en las circunstancias de un país como Cuba. Mencionemos dos de los más trascendentes:

Ingeniería física y biofísica

El cálculo, diseño, construcción, puesta a punto, caracterización, validación, registro e introducción al sistema de salud de las máquinas cubanas de imágenes de resonancia magnética (IRM) que brindaron servicios durante más de 10 años en 3 hospitales del país. Fueron los físicos (graduados y estudiantes) en el seno de la Facultad de Física Matemática de la UO, quienes junto a ingenieros de diversas especialidades acometieron exitosamente esa compleja tarea, en unos dos años, cuando esa tecnología emergía en los países desarrollados. Algunos de los problemas físico-tecnológicos que hubo que resolver están descritos en el capítulo 17 del libro *The History of Physics in Cuba*.⁽²⁰⁾ Paralelo al avance científico tecnológico de los equipos de IRM se desarrollaron dos líneas más:

- Creación de equipos de relaxometría y magnetometría de RM para la caracterización y control de la calidad, así como otros equipos médicos para el monitoreo de los parámetros vitales de los pacientes.
- Investigaciones científicas de los procesos de aglutinación molecular, base de la anemia de eritrocitos falciformes.

formes. Así en el campo del cáncer y la neurofísica, temáticas en las que se publicaron decenas de artículos científicos, defendieron exitosamente más de una veintena de tesis de maestría y una decena de doctorados. ⁽²⁰⁾ De este proyecto surgió el CBM inaugurado con sus secciones de biofísica, bioingeniería y bioinformática. Decenas de miles de personas fueron beneficiadas con un diagnóstico precoz, algo no cuantificable en términos de indicadores de desempeño científico.

Físicos en Barrio Adentro y en Operación Milagro

El segundo proyecto que merece ser mencionado, ha trascendido las fronteras de Cuba. Dos programas de carácter internacional, surgidos en 2005. El primero consistente en crear 35 centros médicos de alta tecnología para diagnóstico localizados en todos los estados de la República Bolivariana de Venezuela, al que se le llamó Barrio Adentro II. Todos esos centros disponían de equipos de imágenes de resonancia magnética, de tomografía computarizada de 64 cortes, de rayos X, mamografía, video endoscopia, ultrasonido 3D, laboratorio clínico con tecnología de última generación y una intranet. Al unísono, se introducía similar tecnología a lo largo y ancho de los diferentes hospitales de Cuba (Figura 2).

Simultáneamente con Barrio Adentro II aparece la Operación Milagro, que consistía de crear decenas de Centros Oftalmológicos de Diagnóstico y Terapéutica, incluyendo la quirúrgica en todas las provincias de Cuba y en varias decenas de países como Venezuela, Bolivia, Ecuador, Argentina, Uruguay, Guatemala, Panamá, México, Haití, Guyana, China, Argelia, por solo mencionar algunos. Los centros oftalmológicos disponían de compleja tecnología óptica: tomografía de coherencia óptica, láseres incluyendo en algunos láseres excímeros, ultrasonidos, salones con microscopios quirúrgicos, entre otros

muchos. El diseño de los centros, el control de la calidad de su construcción, el montaje de los equipos, la puesta a punto de ellos, su mantenimiento y explotación de acuerdo a elevados estándares, fue parte de ese macro proyecto, ejecutado en apenas 2 a 3 años desde el comienzo (Figura 3).

La formación de dos centenares de ingenieros en tecnologías de imágenes médicas y en óptica, a partir de los mejores alumnos de los últimos años de las todas las carreras de ingeniería y física del país fue la garantía de todo este proceso relacionado con los centros de Barrio Adentro II y de la Operación Milagro. El claustro fundamental para la formación de esos más de doscientos ingenieros, estuvo compuesto fundamentalmente por físicos de la UO, Las Villas, la Universidad Tecnológica de La Habana, el INOR y el hospital Hermanos Ameijeiras. Entre ellos merece destacarse a los doctores German Muñiz Planas, Alfredo Moreno Yeras, Roberto Fraxeda, Evelio González Dalmau, Joaquín González González, Carlos Sánchez Catasús, Oscar Díaz Rizo, Adlin López Díaz y Rodolfo Alfonso La Guardia, coautor de estas líneas. Todos estuvieron bajo la conducción del también físico Carlos Cabal, Director del CBM de la UO e integrante de la Oficina de Salud del Consejo de Estado durante esos años.

Es necesario subrayar que las Misiones de Barrio Adentro en Venezuela y Operación Milagro en decenas de países, contaban con la voluntad política, el sello distintivo y la fiscalización constante del Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y otros líderes latinoamericanos. Millones de seres humanos han sido beneficiados.

Como consecuencia de este proceso se gestaron dos carreras universitarias la de ingeniería física, que reabría sus puertas, y la ingeniería biomédica. Así mismo surgieron las maestrías y los diplomados de tecnologías de imágenes médicas y de óptica.



Fig. 2. Algunos servicios del centro de diagnóstico de alta tecnología (de izquierda a derecha, primero arriba y luego debajo): vista exterior de 1 de los 35 centros; resonancia magnética 0,35 T; CT multicorte; procesamiento de imágenes; densitometría ósea; laboratorio clínico; videoendoscopia; ultrasonido 3D.



Fig. 3. Ejemplos de la tecnología óptica asociada a la operación Milagro: láser excímero, entrenamiento de ingenieros bajo la supervisión del Dr. Físico Germán Muñiz.

Lamentablemente después de varios años del proyecto se cuestionó la existencia, la preservación y desarrollo de esa colosal masa de ingenieros, cuasi físicos, dedicados a la explotación y desarrollo de la alta tecnología médica, dejando de ser prioridad para el sistema de salud cubano, con la consecuente pérdida de muchos de esos expertos. Igual suerte tuvo la carrera de ingeniería física cuestionada y cerrada.

LA FÍSICA ANTE LOS RETOS DE LA TERCERA REVOLUCIÓN EN LA BIOLÓGÍA

Una nueva revolución científica ha irrumpido en el escenario internacional contemporáneo. Las ciencias básicas cubanas y, en especial la física, han de tomar parte en ella si se desea mantener el desarrollo que Cuba ha logrado en el campo de la biotecnología y la medicina. Se trata de la llamada tercera revolución en la biología.

La primera revolución sentó las bases de la biología molecular, donde la molécula de ADN, soporte de la información biológica en interior de las células (“el *hardware*” de los procesos), ha permitido entender más profundamente la biología de los sistemas vivos y sus anomalías. Por otra parte, y de manera estrechamente ligado a la anterior, en la segunda revolución, en la genética, se afirmaron las bases para entender y manipular los códigos de la transmisión de la información biológica (“el *software* celular”). Cuba, a tiempo, pudo participar en estas dos revoluciones del conocimiento, lo cual fue un factor de éxito arriba apuntado.

La tercera revolución en la biología consiste, en esencia y de manera sucinta, en la convergencia de las ciencias de la vida, con la física, con las ingenierías, la computación y las matemáticas. Las principales regularidades de esta revolución son tratadas en los artículos “Regularidades y tenden-

cias de las tecnologías al servicio de la medicina moderna y nacional”, “Research Council Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life of Sciences”.

La contribución de la física y demás ciencias básicas a las ciencias de la vida, esta vez cobra un ritmo y una intensidad inconmensurablemente mayor de aquellas que ocurrieron a lo largo de la historia de la medicina, cuando se revolucionaron los métodos de diagnóstico y terapéutica a partir de los colosales descubrimientos de las ciencias naturales, primordialmente a finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX. Esta convergencia no reside solo en trasladar herramientas y métodos de la física, las ingenierías, la computación y las matemáticas a la biología, sino también, se presenta con nuevos enfoques y paradigmas. Se trata de una interrelación más profunda, consciente, intencional entre estas ciencias para abordar los complejos problemas de los sistemas biológicos, donde las ciencias convergentes con la biología también salen favorecidas.

Simultáneamente con tercera revolución en la biología están ocurriendo otras que la catalizan. Una de ellas es la de las tecnologías cuánticas con los relojes cuánticos, computadoras cuánticas, etc.

La efectividad de ese proceso de convergencia característico de esta tercera revolución está determinado, en gran medida, por la eficacia de las interconexiones entre las universidades y los institutos de investigación para convertir rápidamente los nuevos descubrimientos en productos. Los nexos, la identificación de proyectos y oportunidades, las proporciones entre las investigaciones y los desarrollos básicos y aplicados, adquieren una trascendente connotación.

Sin embargo, el carácter transdisciplinario de esta reciente revolución y las estructuras tradicionales universitarias,

plantean también a la educación superior retos de naturaleza organizativa para lograr visiones más allá de disciplinas concretas, y que el flujo de resultados se incremente de acuerdo con la dinámica del estado del arte mundial. En ese contexto una fortaleza de las universidades cubanas, y de otras entidades de ciencia, tecnología e innovación, radica en que poseen un conjunto de centros y grupos de investigación con resultados de alto valor en los campos de la física teórica, la biofísica, la bioingeniería, física de los materiales, y en particular, en los biomateriales, la bioinformática, la biomatemática y los equipos médicos. Sin embargo, la existencia de una relativa dispersión de las líneas de investigación, no siempre coherentes con los propósitos de más largo alcance; investigaciones que muchas veces responden a objetivos de bajo o mediano impacto, limita la trascendencia de los resultados de investigación-desarrollo. Esos centros y colectivos expertos constituyen el núcleo para el diseño de una adecuada estrategia organizativa que conduzca a la necesaria convergencia de acuerdo con las tendencias modernas.

A su vez, es imperioso incrementar las inversiones que beneficien aquellas investigaciones y desarrollos (I+D) en las ciencias de la vida que fortalezcan conexiones cualitativamente superiores con las ingenierías, la física y demás ciencias naturales y exactas. Esas inversiones no pueden regirse por los cánones clásicos, ni en los conceptos, ni en cuantía, ni en ritmo. Expertos aseveran que esta tercera revolución implica avances inusuales, no solo en la biomedicina sino en la producción agrícola, las nuevas formas de energía, la sostenibilidad ambiental y la seguridad nacional. Cuba posee condiciones para enfrentar este nuevo desafío.

Tomar conciencia de estas oportunidades para la física cubana es condición necesaria pero no suficiente. Los riesgos son, la ausencia de una política coherente actualizada, la estrechez de horizontes, el pragmatismo y economicismos exacerbado. De no actuarse, o de hacerlo lenta y parcialmente, se perderá la oportunidad de participar en esta tercera revolución del conocimiento de las ciencias de la vida y se disipará el liderazgo relativo alcanzado en las esferas biotecnológica, farmacéutica y biomédica cubanas como consecuencia de la pérdida de valor agregado de los productos y, por consiguiente, de competitividad.

Epílogo

Serán los próximos años oportunidad para enfrentar los retos y para afianzar las tradiciones de las Ciencias de la Vida y su relación con las demás ciencias y tecnologías, base esencial de la soberanía científica y cultural de nuestra patria. La física; los físicos, debemos reclamar nuestra participación activa e intencionada en ese decisivo y trascendente quehacer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baracca A, Franconi R. Subalternity vs. Hegemony. Cuba's Outstanding Achievements in Science and Biotechnology. 1959-2014. Berlin: Springer; 2016.
2. s/a. Cuban's biotech Boom. Nature. [Editorial]. 2009;457.
3. Drain PK, Michele B. Fifty Years of U.S. Embargo: Cuba's Health Outcomes and Lessons Science. 2010;328.
4. López Sánchez J. Ciencia y Medicina. Historia de las Ciencias. Ciudad de La Habana, Editorial Científico Técnica. 1980.
5. Álvarez Cuartero I. Memorias de la Ilustración: las Sociedades Económicas de Amigos del País en Cuba (1783-1832). Madrid. EUROLEX. 2000.
6. Pruna Goodgall PM. Ciencia y Científicos en Cuba Colonial La Real Academia de Ciencias de La Habana (1861-1898). La Habana, Editorial Academia. 2011.
7. Castro Ruz F. Discurso pronunciado por el Comandante Fidel Castro Ruz, Primer Ministro del Gobierno Revolucionario de en el acto celebrado por la Sociedad Espeleológica de Cuba, en la Academia de Ciencias el 15 de enero de 1960. <http://www.cuba.cu/gobierno/discursos/1960/esp/f150160e.html>
8. Céspedes Escaverino UO. Ecos de la selva. La Habana; 1861.
9. Cabal Mirabal C. La ciencia cubana componente del patrimonio cultural de la Nación. [Editorial] Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 2014;4(1):1-5. Disponible en: <http://www.revistacuba.cu/index.php/revacc/article/view/95>
10. Méndez L, Roca Oria EJ, Cabal Mirabal CA. Roberto Soto del Rey Fundador de la Universidad de Oriente y de su departamento de Física. Rev. Cub. Fís. 2012;29(1):33.
11. Soto del Rey R. Introducción a la biofísica. Santiago de Cuba: Editorial Oriente: 1988.
12. Coro Antich F. Fisiología Celular. Un enfoque biofísico. La Habana. Editorial Universitaria Félix Varela. 1996.
13. C. Mateo, J. Lombardero, E. Moreno, A. Morales, J. Coloma, R. Pérez, S. Morrison Removal of T cell epitopes from genetically engineered antibodies: Production of modified immunoglobulins with reduced immunogenicity. Hybridoma .2000;19(6).
14. Mateo C, Lombardero J, Roque L, Pérez R. Generalization of a new method to reduce immunogenicity of chimeric monoclonal antibodies. Human Antibodies 2002;11(1,2):39.
15. León K, García K, Carmenate T. Mathematical Models of the impact of IL2 modulation therapies on T cell dynamics. Frontiers in Immunology. 2013;4:439.
16. León K, García K, Carmenate T, Rojas G. Combining computational and experimental biology to develop therapeutically valuable IL2 muteins. Seminars in Oncology. 2018
17. IAEA. El físico médico: criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina. Human Health Series No. 1. Disponible en: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1424_S_web.pdf
18. Linares Rosales HM, Alfonso Laguardia R. Medical physics status in Cuba. Current situation and future development. Medical Physics International Journal. 2015;3(1).
19. Baracca A, Wendt H, Renn J. 2014b The History of Physics in Cuba, Series Boston Studies in the Philosophy and History of Science Springer Dordrech Heidelberg New York London. Capítulo 17 Magnetic Resonance Project 35-26-7: A Cuba Case of Engineering Physics and Biophysics Carlos A. Cabal Mirabal:315-322.

20. Cabal C. Regularidades y tendencias de las tecnologías al servicio de la Medicina Moderna. Revista Cubana de Salud Pública. 2008,34 (3):1-5.
21. Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health; Board on Life Sciences; Division on Earth and Life Studies; National Research Council Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life of Sciences. Physical Sciences and Engineering and Beyond. The National Academic Press Washington DC. (2014) http://www.nap.edu/login.php?record_id=&page=https%3A%2F%2Fwww.nap.edu%2Fdownload%2F18722
22. Sharp P. et al. (eds.) Convergence: The Future of Health. MIT Press. Cambridge. Massachusetts. 2016.
23. Sharp P. A. et al. (eds.) The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences. Physical Sciences and Engineering. MIT press. Cambridge. Massachusetts. (2011). <http://www.aplu.org/projet-and-initiatives/research-science-and-technology/hibar/resources/MITwhitepaper.pdf>
24. Cabal C. De frente a los retos de la Tercera Revolución de la Biología. Biotecnología Aplicada. 2017;34:3401-03.
25. Cabal C. La física: una protagonista de la tercera revolución en la biología, RCF.2017; 34:165.
26. Cabal C. De frente a los retos de la Tercera Revolución en la Biología. Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba. 2017;7(2). Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/445>

Recibido: 19/04/2021

Aprobado: 18/07/2021

Cómo citar este artículo. Cabal Mirabal C, Alfonso La Guardia R, León Monzon K. La física *vitae* cubana. Sinopsis antes de la COVID-19. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba [internet] 2021[citado en día, mes y año];11(3): e1017. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/e1017>

