

Evolución de la bioingeniería y la nanotecnología: desde la biofísica hasta la convergencia científico-tecnológica (NBIC)

Bioengineering and nanotechnology evolution: from biophysics to science and technology convergence (NBIC)

Yaneth Vásquez Ochoa¹, Óscar Leonardo Herrera Sandoval²,
Alfredo Espitia³, Carlos Hugo Escobar⁴ y Mikel Hurtado⁵

Resumen

El desarrollo de la bioingeniería y la nanotecnología ha estado ligado en la historia de la humanidad a la búsqueda de una mejor calidad de vida. Este documento presenta un recorrido histórico desde las primeras aplicaciones de la biofísica hasta los últimos desarrollos de la convergencia científico-tecnológica entre cuatro áreas del conocimiento: la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías informáticas y las ciencias cognitivas (NBIC). Además,

presenta sus aplicaciones actuales y potenciales en las áreas de la salud, el agro y el medioambiente, así como la investigación que se desarrolla en estas áreas en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Central.

Palabras clave: bioingeniería, biotecnología, convergencia, nanotecnología, tecnologías de la información.

¹ Licenciada en Química y Biología. Magíster y doctora en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesora del Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Central. Correo: ovasquezo@ucentral.edu.co.

² Físico e ingeniero Electrónico. Magíster en Ingeniería Electrónica y Computadores. Doctor en Nanotecnología de la Universidad de Génova, con posdoctorado en la Universidad Técnica de Darmstadt. Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Central. Correo: oherrerass@ucentral.edu.co.

³ Ingeniero electrónico. Candidato a magíster en Ingeniería Biomédica de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor del Departamento de Ingeniería

Electrónica de la Universidad Central. Correo: aesptiab1@ucentral.edu.co.

⁴ Médico y cirujano general. Magíster en Biología Molecular y Biotecnología. Doctor en Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor e investigador del Departamento de Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (FUCS). Correo: chescobar@fucsalud.edu.co.

⁵ Químico. Magíster en Ciencias de los Materiales. Doctor en Química del Estado Sólido de la Universidad Nacional de Colombia, con posdoctorado en Nanomateriales de la Universidad de los Andes. Profesor de la Universidad Central. Correo: mhurtadom@ucentral.edu.co.

Abstract

The development of bioengineering and nanotechnology have been linked to the history of humanity and to the quest for quality of life. This document presents a historical overview from the first applications of biophysics to the developments in scientific and technological convergence between four areas of knowledge: Nanotechnology, biotechnology, computer technologies and cognitive sciences

(NBIC). Besides, presents current and potential applications in the areas of health, agriculture and the environment, as well as research in these areas in the Faculty of Engineering and Basic Sciences of the Central University.

Keywords: bioengineering, biotechnology, convergence, nanotechnology, information technologies.

1. Introducción

La bioingeniería y la nanotecnología representan los campos del conocimiento con más rápido crecimiento en los últimos treinta años, principalmente por su propósito común de impulsar el conocimiento y los procesos de investigación que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida del ser humano. Su capacidad de suplir necesidades y resolver problemas en áreas como la salud, el agro y el medioambiente repercute de forma definitiva en el cuidado y preservación de la vida. Estas dos grandes áreas han logrado descubrimientos y generado dispositivos y procesos innovadores que han definido su saber y sus aplicaciones (Nebeker, 2002).

Estas dos disciplinas han construido su conocimiento a partir de interacciones independientes entre los conceptos de las ciencias de la vida, las ciencias físicas y la ingeniería. Así, la evolución de estos saberes ha llevado a una complejidad conceptual que se articula específicamente según los problemas que busca resolver una determinada comunidad científica, cuya interacción puede conducir a la formación de nuevos conceptos (Nersessian,

2014). Por ello, en los trabajos de investigación en bioingeniería y nanotecnología convergen especialistas cuyos esfuerzos colectivos son necesarios para desarrollar y producir un nuevo sistema exitoso.

Una mirada al desarrollo histórico de la bioingeniería y la nanotecnología como disciplinas científicas permite comprender su impacto en la sociedad actual, su posicionamiento como campo del saber y sus perspectivas en el futuro. En su evolución se pueden identificar tres grandes momentos del acontecer disciplinar que permitieron su reconocimiento en la sociedad. El primer momento fue cuando los ingenieros encontraron aplicación para los conceptos de la física en el diagnóstico médico y el cuidado de la salud. El segundo momento surgió con la revolución de la biotecnología y la nanotecnología (Citron y Nerem, 2004). Finalmente, el tercer momento, el más reciente, corresponde a la convergencia científico-tecnológica alrededor de la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la informática y las ciencias cognitivas (NBIC) (Brainbridge y Roco, 2016; Toumey, 2014).

2. Las primeras aplicaciones biomédicas

En 1895, el físico Wilhelm Conrad Röntgen dio a la medicina una de las herramientas más importantes en el diagnóstico clínico con el descubrimiento de los rayos X y el desarrollo de las radiografías. Este descubrimiento acercó la tecnología moderna a los hospitales y facilitó el avance en otras áreas como la cirugía, la ginecología y la ortopedia. Entre 1920 y 1930, muchos investigadores usaron los conceptos y las técnicas de la física en investigaciones médicas. Gracias a esto, durante esa década se estableció la naturaleza eléctrica del impulso nervioso, y conceptos de la física como resistencia, capacitancia y polarización fueron aplicados en el estudio de tejidos humanos. Esto dio inicio a los desarrollos cardiovasculares y a las técnicas de medición eléctrica (Citron y Nerem, 2004).

Por la misma época se establecieron las primeras instituciones de investigación para la promoción de esta nueva área. La Universidad de Pensilvania estableció la Fundación Johnson para el estudio de la física médica, la Clínica Cleveland estableció el departamento de biofísica y se instituyó la Fundación Rockefeller. En estas instituciones se estudió por primera vez el daño que los rayos X podían producir en los seres vivos y se determinaron las normas de seguridad durante su uso. Además, en esta década se diseñaron instrumentos de gran importancia en el campo médico como el oftalmoscopio y el oftalmómetro, así como el electrocardiógrafo y el electroencefalógrafo, que permitieron elucidar la naturaleza eléctrica de la actividad cardíaca y neural. También en esta época surgen los primeros bancos de sangre, gracias al aporte de la bioingeniería y los sistemas de refrigeración (Enderle, Blanchard y Bronzino, 2012). En estos

años surge el notable vínculo que la ingeniería, en particular, ha mantenido con la biofísica como soporte teórico y experimental. De otra parte, se comprendió que el uso indiscriminado de tecnología puede poner en riesgo la integridad de los seres vivos y, en consecuencia, se establecieron las primeras normas de bioseguridad.

La década de los cuarenta es conocida como el periodo formativo de la bioingeniería por el amplio número de instrumentos y conceptos que se desarrollaron (Citron y Nerem, 2004). Al inicio de esta década, el ultrasonido, que sustentó el desarrollo del sonar durante la Primera Guerra Mundial, fue usado con éxito por el ingeniero Donald Sproule para el diagnóstico médico, de modo que por primera vez fue posible obtener imágenes de tejidos blandos *in vivo*. A finales de los años cuarenta, motivado por atender a un paciente joven con insuficiencia renal, el médico holandés Willem Kolff diseñó el primer equipo para diálisis, con lo cual sentó las bases para el tratamiento de la falla renal crónica. Además, su diseño de celofán y recubrimiento de salchicha condujo al desarrollo de una membrana que permite la oxigenación de órganos de manera extracorpórea durante la cirugía (Rivett, 2003). Los desarrollos de este periodo, sumados a los avances en las tecnologías de rayos X, sentaron las bases de la imagenología moderna. Asimismo, en los años cuarenta se dieron los primeros pasos para influir en el bienestar de los pacientes mediante el uso de materiales y equipos desarrollados por la ingeniería como parte de los procesos terapéuticos.

La década de los cincuenta fue una era de crecimiento económico en el mundo, y la naciente prosperidad permitió mayores inversiones en el cuidado de la salud y en la investigación biomédica. La bioingeniería ganó reconocimiento con el diseño de dispositivos

como el marcapasos y la máquina del corazón-pulmón (Nebeker, 2002). El primer marcapasos interno con una fuente de energía incluida se instaló en 1958, lo cual fue posible gracias al advenimiento del transistor. Este evento facilitó que el marcapasos pasara a ser un dispositivo pequeño, barato y útil.

De igual forma, la bioingeniería y la física aportaron a la ciencia el microscopio electrónico, que aportó avances significativos en el estudio de las células y los tumores, y dieron a los médicos la posibilidad de realizar su trabajo con base en herramientas, sistemas o procesos tecnológicos (Enderle, Blanchard y Bronzino 2012). Mientras tanto, en Colombia, el ingeniero Jorge Reynolds Pombo diseñó y construyó un marcapasos basado en el modelo de John Hopps de 1950, y el neurólogo Salomón Hakim diseñó la válvula de Hakim, que drena líquido cefalorraquídeo y controla la hidrocefalia (Soler López, 2009).

En paralelo, la biología vivía una gran revolución con el descubrimiento de la estructura tridimensional del ADN y el cultivo de células en el laboratorio, que favoreció el estudio de su estructura y funcionamiento. El descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 por un biólogo (James Watson) y dos físicos (Francis Crick y Rosalind Franklin) abrió un nuevo campo en la bioingeniería. Este descubrimiento permitió que los principios y conceptos de la ingeniería fueran aplicables a todas las formas de vida y no solo al cuidado de la salud humana. Además, se usó como fundamento para el desarrollo de lo que hoy se conoce como el dogma central de la biología molecular (Enderle, Blanchard y Bronzino 2012).

Los acontecimientos de la década de 1950 sirvieron para que un grupo de miembros del Instituto de Ingenieros de Radio (Institute of Radio Engineers, IRE) estableciera en 1952

una nueva rama de la ingeniería que se encargara de “la solución a problemas en biología y medicina con el uso de los principios de la ingeniería electrónica”. Este grupo extendió sus intereses y en 1963 pasó a convertirse en la Sociedad Internacional de Ingeniería en Medicina y Biología (EMBS, por sus siglas en inglés), con presencia en 97 países y con diez mil miembros en la actualidad (EMBS, 2016; Citron y Nerem, 2004). En este periodo se destaca el uso de las herramientas de la ingeniería, ya no solo aplicadas al campo de la salud humana, sino también a los sistemas biológicos. Se comprendió que existen unos pilares comunes a todos los seres vivos, es decir, las bases bioquímicas de la vida.

3. La revolución de la biotecnología y la nanotecnología

La instrumentalización de los sistemas biológicos, reconocidos como objetos de intervención en algunos casos y como herramientas en otros, puede entenderse como la esencia conceptual de la biotecnología, rama de la bioingeniería (Bud, 1989). El nacimiento de la biotecnología moderna ha sido situado en la década de los setenta con los trabajos de Paul Berg en torno al *splicing* genético y la producción del DNA recombinante, lo cual fue seguido por el desarrollo de la tecnología de transferencia y la expresión heteróloga de material genético por Hebert Boyer y Stanley Cohen (Claros, 2003).

Los años posteriores fueron muy activos en este campo, con desarrollos como la secuenciación de ácidos nucleicos (Sanger, Nicklen y Coulson, 1977), las sondas para la detección de secuencias nucleotídicas (Kolff, 2002) y la reacción en cadena de la polimerasa (*polymerase*

chain reaction, PCR) (Bartlett y Stirling, 2003), así como las técnicas para la detección de proteínas. Todos estos avances, derivados de los métodos de la ingeniería, revolucionaron la forma de estudiar y evaluar los sistemas biológicos, toda vez que hicieron accesible la información genómica, transcriptómica y proteómica. Los sistemas biológicos se convirtieron en sistemas inteligibles y modificables, lo cual abrió la puerta a su intervención dirigida e individualizada, y originó nuevos paradigmas como la medicina personalizada o la intervención de animales, cultivos o entornos en función de sus características genotípicas y fenotípicas.

En este contexto, se hace viable la secuenciación del genoma humano, que presentó sus resultados preliminares en el año 2001 (Venter et ál., 2001). Este es considerado uno de los avances de la bioingeniería más importantes del milenio. Su logro es tan trascendental como el lanzamiento de la primera nave espacial y el alunizaje. También es un ejemplo de cooperación y competencia entre científicos y organismos de financiación gubernamentales y privados (Cohen, Chang, Boyer y Helling, 1973). Pronto fue evidente la enorme cantidad de información y la necesidad de sistematizar y desarrollar algoritmos para su análisis. Al respecto, la actuación de las ciencias de la ingeniería y la computación llevó al desarrollo de bases de datos y sistemas automatizados para la captura y análisis de este tipo de información, momento catalogado como el nacimiento de la bioinformática (Hagen, 2000). Estos desarrollos tecnológicos en informática permitieron a los bioingenieros analizar, integrar e interpretar datos e información en grandes volúmenes en las áreas de las biociencias.

La moderna biotecnología proporcionó a la bioingeniería aplicaciones en salud, medioambiente y agro. Con base en microorganismos,

levaduras, bacterias y hongos, la bioingeniería desarrolló las herramientas para tratar productos o desechos industriales, como la biolixiviación, la biodegradación, el biotratamiento, las biofiltraciones, los biocatalizadores, la producción de biomasa y la biomonitorización. Estas técnicas son un compendio de herramientas estrictamente biológicas y su aplicación a gran escala implica los principios y conceptos de la ingeniería (Ezeonu, Tagbo, Anike, Oje y Onwurah, 2012).

En cuanto al área agrícola, se ha hecho posible trasladar genes de un individuo a otro para dar origen a organismos modificados genéticamente (OMG), lo que ha incrementado la productividad alimentaria y reducido el daño a las cosechas por malezas e insectos. De igual manera, los marcadores moleculares nos permiten seleccionar el ADN de plantas o animales con genes específicos o no deseados para generar crías más resistentes y deseables. Estos avances han permitido que los conocimientos y las herramientas de la bioingeniería puedan aplicarse en distintos sectores de la industria, mediante la adaptación y el desarrollo de productos o procesos biotecnológicos.

En Colombia, Corpoica ha hecho investigaciones en ingeniería genética del plátano, para resistencia al picudo negro. También ha trabajado con maíz en selección asistida por marcadores moleculares para tolerancia a la sequía y a suelos ácidos, como también para la tolerancia de la soya a la toxicidad del aluminio. Además, cuenta con el banco de germoplasma, que mantiene 22 000 accesiones de 75 especies nacionales (Pacheco, Castellanos, Clavijo, Jiménez y Portillo, 2015). Por su parte, el Laboratorio de Biotecnología de Cenicaja adelanta trabajos en el uso de microsátélites para el registro y protección de variedades de caña y estudios de polimorfismos entre variedades resistentes y susceptibles (Victoria et ál.,

2013). Además, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (UBUN) desarrolló la primera variedad de papa criolla transgénica resistente a plagas, así como cuatro biofertilizantes que han aumentado la producción de arroz hasta un 25 %. Finalmente, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Compañía Colombiana de Tabaco S. A. (Coltabaco) ha desarrollado cuatro variedades de tabaco, dos de estos con derechos de obtentor.

Por otro lado, a la par con el progreso de las ciencias biológicas, el desarrollo de la ingeniería y de la física ha favorecido el surgimiento de la nanotecnología. Esta área de la ciencia emprende su camino a partir de la invención del microscopio de emisión de campo por el físico alemán Erwin Müller (1936) y continúa con la propuesta del concepto de *ingeniería molecular* por Arthur von Hippel en el Massachusetts Institute of Technology (1956) y la construcción del primer circuito integrado por Jack Kilby en Texas Instruments (1958). Estos avances, sumados a los planteamientos de Richard Feynmann sobre la posibilidad de manipular la materia átomo a átomo, permitió la formulación del concepto básico de *nanotecnología* en el marco dimensional a escala atómica por parte de Norio Taniguchi.

A finales de la década de los noventa, esta nueva propuesta científica posibilitó la integración disciplinar y tecnológica de diferentes sectores dedicados al estudio de los materiales desde las propiedades de los átomos en los sistemas vivos y no vivos (Roco, 2001; Roco, Bainbridge, Tonn y Whitesides, 2013; Williams y Alivisatos, 2000). Esta década se caracterizó por una serie de descubrimientos e invenciones que desarrollaron la nanotecnología, con lo cual se ha intensificado desde entonces la investigación en el área y el número de publicaciones ha aumentado significativamente, así

como el número de organizaciones que investigan en nanociencias (Tolochko, 2009).

En 1983, científicos del centro de investigación de la multinacional IBM en Zúrich (Suiza) desarrollaron el microscopio de efecto túnel, que causó un gran impacto en el mundo de la física y la biología. Este instrumento permitió la manipulación de los átomos individualmente, así como la visualización de virus (por ejemplo, VIH, zika, influenza) en su medio natural (Kumar et ál., 2017). En esta misma época comenzaron los procesos de cirugía robótica láser no invasiva, gracias al hallazgo de la posibilidad de corte preciso de tejido biológico. Es así que en 1987 se realiza la primera cirugía mediante el uso de este desarrollo (Goldman, 2013). Son muchos los avances científicos y tecnológicos que se dieron en esta época y que redundaron de una u otra forma en el mejoramiento de la salud humana.

4. La convergencia científico-tecnológica

A partir del 2000, el estudio de las propiedades y aplicaciones de conceptos básicos de la ciencia (átomos, bits, ADN y sinapsis) facilitaron el desarrollo de instrumentos, procedimientos y materiales comunes a varias áreas del conocimiento que terminaron integrándose en un sistema jerárquico multifuncional. Este complejo sistema surgió cuando la nanotecnología se integró a la reconocida red de la biotecnología y la informática, para completar las herramientas tecnológicas. Es entonces cuando Roco y Bainbridge (2002) proponen unir al grupo las ciencias cognitivas, lo que conformó el conjunto conocido como NBIC (nanotecnología, biotecnología, informática, ciencias cognitivas) (Roco, Bainbridge, Tonn

y Whitesides, 2013). Los grandes desarrollos científicos que este conjunto de ciencias ha generado hasta la fecha y los que se vislumbran hacia el futuro son conocidos como la convergencia científico-tecnológica.

Quizá la razón más evidente de la convergencia científico-tecnológica es la variedad de interacciones útiles entre lo orgánico y lo inerte. Ahora bien, como esto tiene que ver con la posibilidad real de intervenir tecnológicamente para explotar tales interacciones, es claro que la motivación última de prácticamente todo desarrollo tecnológico y proceso de innovación es la obtención de productos y procesos útiles, viables y rentables. Gracias a esta motivación, en la convergencia científico-tecnológica encontramos el trabajo conjunto de investigadores de las ciencias experimentales tradicionales como la física y la química, con ingenieros de variadas especialidades, biólogos, investigadores médicos y de la salud, entre otros.

Ahora bien, esta colaboración entre expertos de diversas tradiciones académicas es impulsada por el hecho de que lo que interesa primordialmente a las instituciones académicas, autoridades públicas, empresas privadas y a la sociedad en general es una investigación orientada a fines concretos, a la resolución de problemas prácticos reales, ya sea para la obtención de un beneficio económico, la resolución de problemas sociales o la búsqueda del bienestar individual (De Cózar, 2004). Así pues, sin negar en ningún momento que diversas aplicaciones de la bioingeniería y la nanotecnología son altamente beneficiosas para la salud y la calidad de vida de las personas y el buen estado del medioambiente, es evidente que los intereses comerciales son un factor muy importante.

De acuerdo con la propuesta de la Universidad de Harvard, las principales áreas de

impacto de la convergencia científico-tecnológica comprenden la medicina y la salud (incluyendo el desarrollo de modelos experimentales y herramientas diagnósticas o terapéuticas), el suministro de alimentos, las energías alternativas y renovables, el desarrollo sostenible, el cambio climático, la biodefensa y la biomimética, además de la bioinformática y la biocomputación (Harvard, 2009). Por su parte, el Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) plantea que las oportunidades de las ciencias convergentes a futuro giran en torno a la producción sostenible de alimentos, el mapeo del cerebro, el descubrimiento de nuevos medicamentos, el desarrollo de dispositivos médicos y quirúrgicos, y el desarrollo de técnicas y procedimientos para el análisis de grandes volúmenes de información con aplicaciones en información de tipo genómica o relacionada con el cuidado de la salud (EPSRC, 2014).

La continuidad del desarrollo de las ciencias convergentes llevará a la posibilidad de impactar en todos los momentos del ciclo salud-enfermedad, para optimizar y mejorar las metodologías diagnósticas, terapéuticas y de rehabilitación. Evidentemente, esto llevará también al aumento de la eficacia de los sistemas de salud, por ejemplo, y mejorará la calidad de vida de las personas en condición de discapacidad, además del cuidado de las personas de mayor edad, que evidentemente serán cada vez más como resultado de los nuevos avances en nuestra permanente búsqueda de la longevidad.

Asimismo, se desarrollarán metodologías diagnósticas que mejoren las actuales en términos de su especificidad y sensibilidad, gracias a la instrumentalización de avances conceptuales respecto a la etiopatogenia y la fisiopatología de diferentes cuadros morbidos; pero, además, el avance será evidente en

la versatilidad de las técnicas y la posibilidad de implementarlas a distancia y de manera controlada. La convergencia ha permitido optimizar los tiempos y reducir la separación temporal entre el diagnóstico y la terapia, lo cual abre la posibilidad del monitoreo continuo y el inicio del tratamiento en tiempo real, sin que el paciente abandone sus espacios habituales de desempeño (Griffith y Grodzinsky, 2001).

En este sentido, el trabajo que se avizora sugiere importantes avances en torno a las alternativas terapéuticas, en la búsqueda del aumento de su eficacia y eficiencia y de reducir sus efectos adversos. Un camino lógico es la focalización del efecto, con metodologías de liberación controlada y dirigida, además de la modulación del efecto terapéutico a distancia y en tiempo real mediante el reconocimiento de la naturaleza dinámica de los cuadros patológicos, sin perder de vista el paradigma de la medicina personalizada, que lleva a la optimización de dosis y vías de administración (Roco, Bainbridge, Tonn y Whitesides, 2013).

Por otra parte, el avance técnico de las alternativas de cultivo *in vitro* llevará al desarrollo de sustitutos tisulares que convertirán en una realidad la ingeniería de tejidos. Esto podrá hacer alcanzable la cura para muchas de las enfermedades degenerativas crónicas y agudas que afectan a nuestra población actualmente, y que además serán más prevalentes en una población con mayor expectativa de vida (Nikalson y Langer, 2001).

La producción agrícola es uno de los principales beneficiarios del desarrollo de las ciencias convergentes, tendencia que continuará en el futuro. Al respecto, la automatización de los sistemas de producción agropecuarios y el desarrollo de nanosensores será un camino lógico hacia el aumento de su eficiencia, lo que reduciría el gasto innecesario de tiempo

y recursos naturales, y por ende su impacto económico. Podrá controlarse en tiempo real el estado nutricional y metabólico de los animales de producción o las cosechas, de manera que en tiempo real y a distancia puedan suministrarse elementos como comida, agua o fertilizantes. Estos sensores también podrían implementarse para detectar el momento adecuado de la cosecha y determinar de forma certera las condiciones del producto al momento en que el consumidor acceda a él.

De otra parte, el reconocimiento de la base genómica y biológica de los organismos con los cuales se trabaja (plantas y animales) permitirá optimizar sus capacidades físicas y funcionales, lo cual redundará en el aumento de producción y la optimización de las características del producto obtenido. Será necesario diseñar tecnologías para el diagnóstico y tratamiento de fito- y zoonosis, como también para el monitoreo y regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas ambientales; la automatización de procesos agrícolas; la automatización de procesos en zootecnia; el monitoreo a distancia de condiciones de cultivos y de animales, y el diseño de instrumentos y materiales para reparación de suelos y la remediación de ecosistemas (Boyd, 2010).

Como se ve, la convergencia científico-tecnológica supone un proceso de gran significado científico, técnico y social, dada su innegable capacidad transformadora. Es previsible un gran número de repercusiones socioambientales, desde pequeñas mejoras incrementales en tecnologías hasta innovaciones inimaginables hoy en día. A su vez, desde la perspectiva filosófica surgen interrogantes perturbadores sobre la distinción entre un ser vivo y uno inerte, entre lo natural y lo artificial, entre una entidad biológica y su entorno, e incluso, a más largo plazo, entre un

ser humano y un ser pos- o transhumano (De Cózar, 2010 y 2011).

5. La convergencia científico-tecnológica en la Universidad Central

En el año 2014, el Consejo Superior de la Universidad Central aprobó la conformación del proyecto estratégico denominado Clúster de Investigación en Ciencias y Tecnologías Convergentes NBIC (Nano, Bio, Info, Cogno), bajo la dirección de la decanatura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. Con esta propuesta se busca fortalecer el desarrollo de la investigación básica y aplicada al desarrollo de la tecnología y la innovación en los campos de la biotecnología y la nanotecnología, en el marco de la relación universidad-empresa. Así mismo, busca generar una red de entidades y personas alrededor de la investigación, el desarrollo y la innovación en los campos de la convergencia NBIC, mediante la construcción de una plataforma de trabajo común entre universidades, empresas y centros de investigación y desarrollo tecnológico, con apoyo estatal.

El proyecto estableció varios campos de interés temáticos, denominados *macroproyectos*. Estos son: a) síntesis y caracterización de nanopartículas y evaluación de su aplicación en ambiente y salud; b) dinámicas sociotécnicas entre actores que se articulan alrededor de las ciencias y tecnologías di(convergentes); c) una plataforma computacional para manejo de datos (*big data*); d) soluciones energéticas inteligentes, y e) diseño, uso y evaluación de tecnologías de inmersión y realidad aumentada en procesos de aprendizaje basados en la experiencia sensorio-motora.

A la fecha, el proyecto Clúster ya cuenta con resultados y logros destacados a nivel

nacional: nueve publicaciones en revistas indexadas; dos profesores con posdoctorado; dos estudiantes de doctorado, cuatro estudiantes de maestría y quince estudiantes de pregrado; siete jóvenes investigadores; seis participaciones en eventos; un proyecto aprobado por Colciencias y otro proyecto aprobado por el Banco de la República; un registro de *software*; cuatro estudios de patente; un curso de profundización y un curso internacional en regulación en los campos de bio- y nanotecnología, y la adquisición de un microscopio de fuerza atómica de muy altas prestaciones. Finalmente, se está trabajando en la propuesta de un programa de maestría en bioingeniería y nanotecnología, que permitirá desarrollar investigación alrededor de los temas de convergencia científico-tecnológica.

A raíz de la evaluación de la primera fase de proyectos, es necesario encontrar caminos hacia la evolución de este proyecto estratégico. Se espera en un futuro cercano contar con la participación de estudiantes de varias instituciones, para fortalecer la formación de recurso humano en estas áreas, que son consideradas como estratégicas en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.

6. Conclusiones

Es muy amplio el rango de actividades de la sociedad que se han visto impactadas desde el trabajo precursor de la biofísica hasta las actuales ciencias convergentes. Sin embargo, aún es incipiente el desarrollo de algunas de las áreas que, *a priori*, podrían experimentar el mayor beneficio de este trabajo, lo cual abre la puerta a la especulación respecto al futuro. Los desarrollos de las ciencias convergentes deben estar orientados no solo al beneficio de la calidad de vida, sino también a la preservación

de todas las formas de vida sobre el planeta y el cuidado del medioambiente. El avance de las tecnologías convergentes depende del progreso en la investigación en biología, en ciencias de los materiales y en bioingeniería. Esta interdisciplinariedad también requiere de institutos y centros de investigación donde se formen profesionales capaces de sugerir y llevar a cabo soluciones para los retos sociales que se avecinan en este siglo.

Referencias

- Brainbridge, W. S. y Roco, M. C. (ed.). (2016). The era of convergence. En *Handbook of science and technology convergence*, 1-14. Cham: Springer International Publishing.
- Bartlett, J. M. y Stirling, D. (2003). A short history of the polymerase chain reaction. PCR protocols, 3-6.
- Boyd, E. (2010) Societal choice for climate change futures: trees, biotechnology and clean development. *Bioscience*, 60 (9), 742-750.
- Bud, R. (1989). History of biotechnology. *Nature*, 337 (6202): 10.
- Citron, P. y Nerem, R. M. (2004). Bioengineering: 25 years of progress—but still only a beginning. *Technology in Society*, 26 (2), 415-431.
- Claros, G. (2003). Aproximación histórica a la biología molecular a través de sus protagonistas, los conceptos y la terminología fundamental. *Panacea*, 4 (12), 168-179.
- Cohen, S. N., Chang, A. C., Boyer, H. W. y Helling, R. B. (1973). Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 70 (11), 3240-3244.
- De Cózar, J. (2004). Nano y biotecnologías: un encuentro perturbador. *Revista Vasca de Sociología y Ciencia Política*, 40: 159-186.
- De Cózar, J. (2010). Sobre la mejora humana por medio de las tecnologías convergentes. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 3 (2), 49-63.
- De Cózar, J. (2011). Nanotecnología, salud y bioética. Entre la esperanza y el riesgo. *Sociedad Internacional de Bioética*.
- EMBS. (2016). About EMBS. Consultado el 6 de julio de 2016 en goo.gl/mSdgFd.
- Enderle, J., Blanchard S. y Bronzino, J. D. (2012). *Introduction to Biomedical Engineering* (Second Edition). Hartford, CT: Elsevier Academic Press.
- EPRSC. (2014). The importance of engineering and physical sciences research to health and life sciences. Consultado el 6 de julio de 2016 en goo.gl/4D8qqG.
- Ezeonu, C. S., Tagbo, R., Anike, E. N., Oje, O. A. y Onwurah, I. N. (2012). Biotechnological tools for environmental sustainability: prospects and challenges for environments in Nigeria—a standard review. *Biotechnology Research International*, 2012.
- Goldman, L. (ed.). (2013). *The biomedical laser: technology and clinical applications*. Amsterdam: Springer Science and Business Media.
- Griffith, L. y Grodzinsky, A. (2001). Advances in biomedical engineering. *Jama*, 285: 556-561.
- Hagen, J. B. (2000). The origins of bioinformatics. *Nature Reviews Genetics*, 1 (3), 231-236.
- Harvard University (2009). Harvard University bioengineering: engineering biology for the 21st century. A plan for bioengineering at Harvard. Consultado el 4 de julio de 2016 en goo.gl/3DtpFJ.

- Kolff, W. J. (2002). Lasker Clinical Medical Research Award. *Nature Medicine*, 8 (10), 1063.
- Kumar, A., Kim, J. H., Ranjan, P., Metcalfe, M. G., Cao, W., Mishina, M. y York, I. (2017). Influenza virus exploits tunneling nanotubes for cell-to-cell spread. *Scientific Reports*, 7.
- Nebeker, F. (2002). Golden accomplishments in biomedical engineering. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21 (3), 17-47.
- Nersessian, N. J. (2012). Engineering concepts: The interplay between concept formation and modeling practices in bioengineering sciences. *Mind, Culture, and Activity*, 19 (3), 222-239.
- Nikolson, L. E. y Langer, R. (2001). Prospects for organ and tissue replacement. *Jama*, 285 (5): 573-576.
- Pacheco, M., Castellanos, M., Clavijo, O., Jiménez, A. y Portillo, C. (2008). La biotecnología, motor de desarrollo para Colombia de 2015 (n.º LC-0231). Bogotá: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias.
- Rivett, G. (2003). A history of the treatment of renal failure by dialysis. *Medical History*, 47 (4): 536-537.
- Roco, M., Bainbridge, W., Tonn, B. y Whitesides, G. (eds.) (2013). *Converging knowledge, technology and society: beyond convergence of nano-bio-info-cognitive technologies*. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.
- Roco, M. C., y Bainbridge, W. S. (2002). Converging technologies for improving human performance: Integrating from the nanoscale. *Journal of Nanoparticle Research*, 4 (4), 281-295.
- Roco, M. (2001). International strategy for nanotechnology research. *Journal of Nanoparticle Research*, 3 (5), 353-360.
- Sanger, F., Nicklen, S. y Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74 (12), 5463-5467.
- Soler López, F. A. (2009). La bioingeniería y la ingeniería biomédica en Colombia. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3 (5), 31-32.
- Tolochko, N. K. (2009). Nanoscience and nanotechnologies. History of nanotechnology. En *Encyclopaedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the auspices of the Unesco. Oxford: Eolss Publishers.
- Toumey, C. (2014). Synergy and reality. *Nature publishing group*, 9(4), 243-244. Consultado en <https://doi.org/10.1038/nnano.2014.69>.
- Venter, J. C., Adams, M. D., Myers, E. W., Li, P. W., Mural, R. J., Sutton, G. G. y Gocayne, J. D. (2001). The sequence of the human genome. *Science*, 291 (5507), 1304-1351.
- Victoria, J. I., Amaya, A., Rangel, H., Viveiros, C., Cassalet, C., Carbonell, G. J. y Moreno, C. A. (2002). *Características agronómicas y de productividad de la variedad cenicña Colombia (CC) 85-92*. Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
- Williams, R. S. y Alivisatos, P. (eds.) (2000). *Nanotechnology research directions: IWGN Workshop Report: vision for nanotechnology in the next decade*. Amsterdam: Springer Science & Business Media.