



Entramado
ISSN: 1900-3803
ISSN: 2539-0279
Universidad Libre de Cali

Montoya, Edgar Serna; Serna A, Alexei
Ingeniería y ciencias de la vida: Relación simbiótica para la supervivencia humana*
Entramado, vol. 18, núm. 2, e215, 2022, Julio-Diciembre
Universidad Libre de Cali

DOI: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.8496>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265473137017>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Ingeniería y ciencias de la vida: Relación simbiótica para la supervivencia humana *

Edgar Serna Montoya

Investigador, Instituto Antioqueño de Investigación, Medellín - Colombia

eserna@eserna.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5306-4444>

Alexei Serna A

Investigador, Instituto Antioqueño de Investigación, Medellín - Colombia

alexei.serna@fundacioniai.org

 <https://orcid.org/0000-0003-2673-4136>

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

Ingeniería; medicina; vida; sistema de salud; supervivencia

Aunque los desarrollos que surgen del trabajo conjunto entre ingenieros y científicos de la vida han aumentado y mejorado en las últimas décadas, todavía hay muchas cosas que hacer en esta relación. Una de ellas es la mejora urgente del sistema de salud, porque si bien la tecnología es importante para mejorar el diagnóstico y el tratamiento, también es necesario superar los complejos problemas de cobertura, calidad, equidad y atención oportuna que sufren los pacientes en muchas partes del planeta. Los gobiernos deben tener el presupuesto adecuado para satisfacer las necesidades en salud de sus ciudadanos y fortalecer el sistema para ampliar la cobertura y mejorar su calidad. Estas son tareas pendientes que deben abordarse desde la experiencia de la ingeniería para gestionar y organizar sistemas, en un trabajo armonioso con científicos de la salud e involucrando a pacientes, médicos, gobiernos, fabricantes, otras disciplinas y la sociedad en general.

Engineering and Life Sciences: Symbiotic relationship for the human survival

ABSTRACT

KEYWORD

Engineering; medicine; life; health system; survival

Although the developments that arise from the joint work between engineers and life scientists have increased and improved in recent decades, there are still many things to do in this relationship. One of them is the urgent improvement of the health system because although technology is important to improve diagnosis and treatment, it is also necessary to overcome the complex problems of coverage, quality, equity and timely attention that patients suffer in many parts of the planet. Governments need to have the appropriate budget to meet the health needs of their citizens and strengthen the health system to expand coverage and improve its quality. These are pending tasks that must be addressed from the experience of engineering to manage and arrange systems, in harmonious work with health scientists and involving patients, doctors, governments, manufacturers, other disciplines and society in general.

Recibido: 05/02/2022 Aceptado: 05/06/2022

* Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: SERNA M, Edgar; SERNA A, Alexei. Ingeniería y ciencias de la vida: Relación simbiótica para la supervivencia humana. En: Entramado. Julio-Diciembre, 2022 vol. 18, no. 2, e-8496 p. 1-10 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.8496>



Engenharia e Ciências da Vida: Relação simbiótica para a sobrevivência humana

RESUMO

PALAVRAS-CHAVE

Engenharia; medicina; vida; sistema de saúde; sobrevivência

Embora os desenvolvimentos decorrentes do trabalho conjunto entre engenheiros e cientistas da vida tenham aumentado e melhorado nas últimas décadas, ainda há muito a ser feito nesta relação. Uma das é a melhoria urgente do sistema de saúde, pois embora a tecnologia seja importante para melhorar o diagnóstico e o tratamento, também é necessário superar os complexos problemas de cobertura, qualidade, equidade e cuidado oportuno que os pacientes sofrem em muitas partes do mundo. Os governos devem ter orçamentos adequados para atender às necessidades de saúde de seus cidadãos e fortalecer o sistema para expandir a cobertura e melhorar a qualidade. Estas são tarefas pendentes que devem ser abordadas pela engenharia especializada para administrar e organizar sistemas, trabalhando harmoniosamente com cientistas da saúde e envolvendo pacientes, médicos, governos, fabricantes, outras disciplinas e a sociedade em geral.

I. Introducción

La ingeniería es una disciplina de trabajo colaborativo cuyos productos tienen innumerables aplicaciones, como se puede apreciar en la medicina de este siglo. Es un campo de cobertura amplia y parece ser lo suficientemente transparente como para que cualquier persona tenga una opinión informada de ella. En contraste, el sistema de salud no se puede definir con tanta simpleza, especialmente porque a su alrededor se ha creado una especie de manto oscuro que les impide a las personas encontrar la información necesaria.

Aunque la relación entre la ingeniería y la medicina ha evolucionado desde el siglo pasado como un campo transdisciplinar complejo, actualmente, con los grandes adelantos y desarrollos tecnológicos, parece ser que el sistema de atención médica padece de un estado de cansancio crónico, sobrecarga y tendencia a la ruptura. Esta es una cuestión paradójica, porque mientras que desde la ingeniería se mejora cada vez más la tecnología para el manejo de muchas enfermedades, la percepción social es un incremento de la insatisfacción en la atención y en la falta de resultados en cuanto a diagnósticos y tratamientos acertados. Esta colaboración transdisciplinar entre ingenieros y científicos de la vida requiere que, por un lado, los ingenieros comprendan el funcionamiento y las restricciones implícitas del sistema de salud, mientras que, por el otro, para los médicos debe ser claro el alcance de los desarrollos ingenieriles que pueden utilizar para el progreso de su profesión.

A pesar de que la medicina adolece de limitaciones en las mediciones físicas cuantitativas para el diagnóstico y el cuidado de enfermedades, con la ayuda de la ingeniería se ha vuelto altamente estructurada. Los científicos de la vida y los ingenieros notaron que se podían ayudar al diseñar y desarrollar conjuntamente los avances tecnológicos necesarios, y decidieron construir productos y sistemas nuevos para la investigación y la práctica médica. Esto hizo que las comunidades médicas e ingenieriles reorientaran sus enfoques teóricos a la experimentación para aprovechar esos nuevos desarrollos y herramientas.

Pero a esta nueva forma de trabajo transdisciplinar también se unieron las matemáticas y la física, proporcionando herramientas para el análisis cuantitativo y explorando nuevas fronteras del conocimiento que, sumadas a la exploración de las propiedades de los materiales desde la ingeniería, hicieron aportes y descubrimientos que derrumbaron barreras y abrieron nuevos horizontes a la práctica de la medicina. El resultado fueron esferas de interés común donde se esfumaron rápidamente las líneas de demarcación disciplinar.

Surgió entonces un campo de trabajo colaborativo en el que se revolucionó la aplicación de la ingeniería a los problemas de la medicina, que ha aumentado sustancialmente en las últimas décadas y que en gran parte se conoce como Ingeniería Médica. De esta manera la ingeniería se convirtió en uno de las disciplinas que mayores aportes hace al bienestar social, al trabajar transdisciplinariamente con otras para solucionar los complejos problemas de la sociedad moderna. Este progreso también implicó que la medicina madurara para aceptar la aplicación de los principios y métodos ingenieriles. Lo cual se evidencia en la necesidad de cuantificar aquellas áreas médicas que consistían principalmente en descripciones cualitativas, clasificaciones y correlaciones, con poca materialización cuantitativa y utilización de herramientas de validación.

Esta tendencia hacia la unificación acabó con el arcaico aislamiento entre la medicina y la ingeniería, porque muchos médicos, que antes se dedicaban estrictamente a la práctica de su profesión, asumiéndola solo como algo suscrito al contacto con los pacientes, se dieron cuenta de que también tenían responsabilidades por fuera del ámbito de la medicina. La ingeniería había roto otras burbujas aisladas en diferentes áreas del conocimiento y ahora, a medida que se incrementaba la complejidad de los problemas, su esfera participativa se extendió a todo lo relacionado con la salud, por lo que muchos de sus principios se estudiaron hoy como partes integrales en la formación médica. Estos logros de participación y responsabilidad compartida sirvieron para dispersar los campos de acción de cada disciplina individual, permitiendo que los profesionales concentraran sus esfuerzos en el mejoramiento de los resultados esperados de cada una.

Una característica de este siglo es que los cambios tecnológicos en todas las áreas se producen con rapidez y, hasta cierto punto, parece ser que la humanidad estuviera perdiendo el control sobre ellos. En este sentido y comparativamente, en la medicina surge una mayor cantidad de problemas a causa de las complicaciones inesperadas generadas por los llamados éxitos tecnológicos y las ambiciones mercantiles. El asunto es que el hospital ha dejado de ser el centro de atención a enfermedades y accidentes, para convertirse en un punto focal en el que se promueven técnicas y tecnologías sofisticadas con la idea de mejorar la calidad de vida de las personas. Pero si bien la experimentación es plausible y necesaria en la industria y en los laboratorios de investigación, la salud humana es un asunto crítico en el que no se puede utilizar a las personas como simples conejillos de indias.

Mientras la ingeniería contribuye con la investigación y la práctica, y desarrolla principios para la creación de herramientas, la ciencia médica debe establecer los límites éticos para su utilización. La idea es que, mediante un trabajo conjunto y armónico, ambas disciplinas ayuden a resolver los problemas actuales y posteriores relacionados con la salud a largo plazo de los humanos y de los animales. Por lo tanto, se necesita diseñar, instrumentar y gestionar una educación adecuada para que los profesionales comprendan y utilicen racionalmente el concepto de la Ingeniería Médica.

2. Ingeniería y salud

Si bien los desarrollos tecnológicos modernos son esenciales en la medicina y la atención en salud depende en gran parte de la ingeniería para mejorar el diagnóstico y el cuidado de las enfermedades, en el sector médico, especialmente en la educación, todavía no se comprenden cabalmente las contribuciones ingenieriles. Por eso es importante que los profesionales conozcan los logros del trabajo transdisciplinario entre ingenieros y médicos, de manera que tengan mayores argumentos para mejorar sus diagnósticos y tratamientos ([Royal Academy of Engineering, 2012](#)).

Con el objetivo de explorar la relación entre estas disciplinas, el Centro de Estudios de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Leiden, en Holanda, realizó una revisión sistemática de la literatura ([Waltman, Van Raan y Smart, 2014](#)) para analizar las publicaciones y citas que mostraban el trabajo transdisciplinario entre ingeniería y medicina. En la [Figura 1](#) se presenta una interpretación a los resultados, donde los puntos en color representan las diferentes áreas de investigación conjunta con niveles significativos de publicaciones y citas, y los puntos grises los grupos de investigación en diferentes áreas de intersección entre la ingeniería y la medicina.

Esta relación entre la ingeniería y la salud se evidencia a partir de los incontables desarrollos e investigaciones en procesos, técnicas y tecnologías, cuyos resultados se utilizan ampliamente para diseñar, analizar, desarrollar, verificar y operar el sistema de salud y para mitigar los efectos de las enfermedades. De lo que se trata es de aprovechar esta enorme variedad de métodos, técnicas e ideas, que ha utilizado la medicina por décadas, para integrarlos a los desarrollos tecnológicos que se materializan y proyectan desde la ingeniería.

Para muchos, estas disciplinas parecían demasiado dispares como para pensar en relacionarlas, pero a raíz de la complejidad de las necesidades sociales en salud y de los logros de la ingeniería en otras áreas, desde finales del siglo XX la humanidad tuvo la necesidad de convocarlas para que iniciaran trabajos conjuntos. A medida que se incrementaba el número y la complejidad de los problemas surgieron comportamientos y consecuencias inesperadas, que hicieron colapsar el sistema de salud en muchos países y generaron fallas que condujeron a pérdida de vidas humanas, destrucción de propiedades y mayor contaminación, acarreando al mismo tiempo la disposición de enormes cuantías para su reparación. Fue entonces cuando el trabajo transdisciplinario resultante y la aplicación de las técnicas ingenieriles a la práctica médica revolucionaron los sistemas de salud en el planeta.

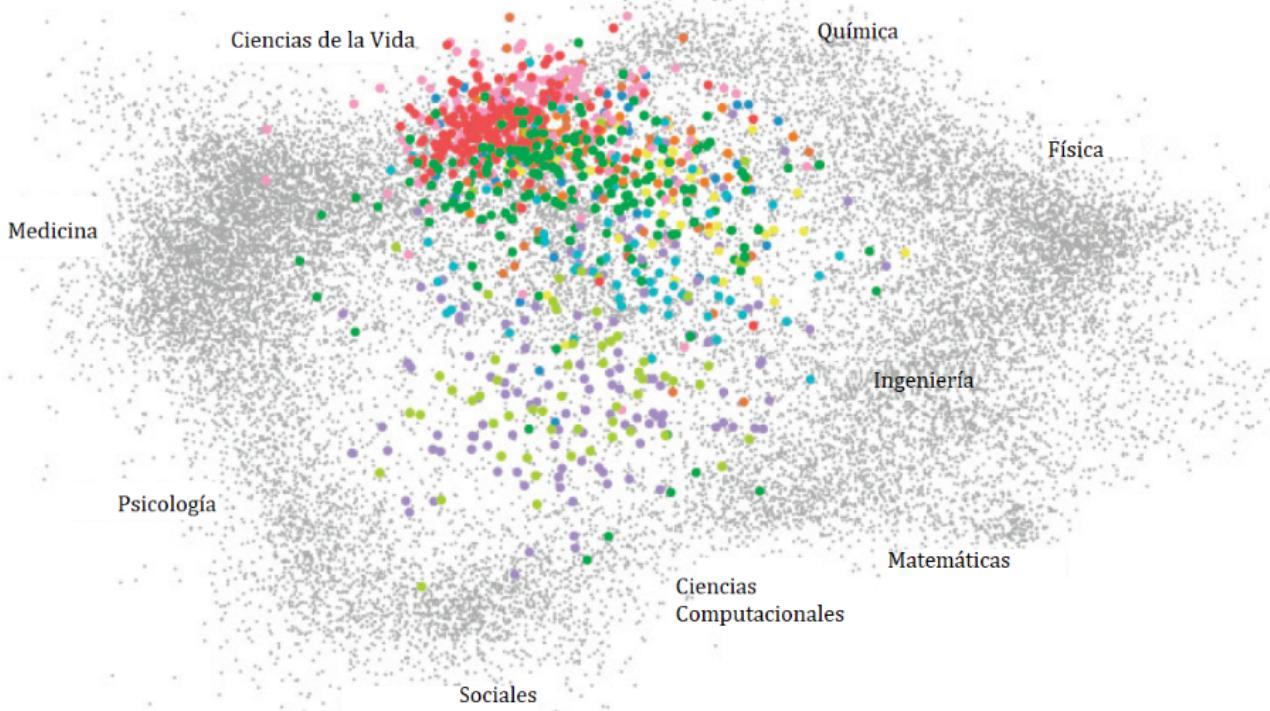


Figura 1. Mapa de la divulgación del trabajo en áreas y grupos de investigación comunes a la medicina y la ingeniería
 Fuente: Elaboración propia

Es evidente que todavía no se ha solucionado todos los problemas subyacentes de la atención en salud, pero se puede afirmar que la influencia del trabajo conjunto de estas disciplinas está impactando directamente otros aspectos de la sociedad de este siglo. Por ejemplo, no se puede obviar el incremento en los costos de la atención médica y que los patrones de pago por los servicios parecen cada vez más desproporcionados; pero mientras los estados no se comprometan con una mayor financiación para este sector, las presiones sociales explosivas se continuarán desarrollando.

Si bien algunos consideran que esto hace parte del progreso y que para lograr mejor atención en salud hay que pagar más, la realidad es que sus argumentos no tienen la solidez como para convencer a una población cada vez más desprotegida. Es cierto que la inversión en los desarrollos tecnológicos es alta, pero también lo es el hecho de que la salud es una necesidad primordial de las personas y, como tal, debe hacer parte de cualquier política de estado.

Como disciplinas académicas de alto impacto social las definiciones de ingeniería y medicina cambian continuamente, porque se caracterizan y están influenciadas principalmente por los objetivos, necesidades y actividades de las personas en cada sociedad. Por eso es que los límites de la relación entre la ingeniería y la salud no se han terminado de establecer y se expanden continuamente a razón de la resolución y el surgimiento de problemas de interés común. En todo caso, el trabajo transdisciplinario entre ambas áreas se desarrolla mediante interacciones constructivistas y con el objetivo de resolver los problemas complejos en el sector salud.

Desde comienzos de siglo XXI este escenario generó innumerables oportunidades de trabajo colaborativo para los ingenieros y los científicos de la vida, entre los que cobran relevancia ciertos problemas clave, particularmente susceptibles a la aplicación de los principios y las tecnologías ingenieriles a los problemas del sistema de salud. Vale la pena mencionar, por ejemplo, que los adelantos más representativos se han concentrado en dinámica de fluidos, propiedades de los materiales, análisis de estructuras, termodinámica, ondas mecánicas y vibraciones. Los cuales se estudian en disciplinas ingenieriles como mecánica, química, aeronáutica o civil, y cada uno corresponde a cuestiones primordiales en los sistemas funcionales

de la vida. Es decir, dinámica de fluidos con hemodinámica, propiedades de los materiales con el análisis de estructuras biológicas y patológicas, y los demás tienen relación directa e implicaciones con alguno de los sistemas del cuerpo humano. En vista de esto, se espera que la influencia de la ingeniería en el sistema de salud se extienda mucho más allá de los niveles actuales, y que la medicina pueda aprovechar sus desarrollos de la misma manera que lo han hecho otras disciplinas a lo largo de la historia.

Desde el punto de vista de la materialización en desarrollos prácticos, la ingeniería y la salud han mantenido una larga y productiva historia de colaboración, ya sea en dispositivos, equipos o productos farmacéuticos, además de un apoyo permanente en investigación. Por otro lado, y gracias al reconocimiento de una necesidad mutua en este siglo, se encuentra en marcha una verdadera revolución en esta relación, plasmada en avances en bioingeniería y genómica, además de las mejoras en herramientas de diagnóstico y tratamiento. En este mismo sentido se espera que la ingeniería haga mayores aportes en todo lo que tiene que ver con los aspectos de funcionamiento del sistema de salud, porque se han materializados pocos esfuerzos en la evaluación, gestión y corrección de las deficiencias del mismo. Se necesita que los principios y las herramientas, al igual que la investigación en las disciplinas ingenieriles relacionados con el análisis, el diseño y el control de Sistemas Complejos, que desde hace tiempo vienen ayudando a mejorar, inclusive a transformar, las industrias de servicios y manufacturera, también impacten las operaciones clínicas del sistema de salud y ayuden a mejorar su funcionamiento.

Debido a que el sistema de salud es un sistema complejo, las crisis en muchos países relacionadas con la calidad, el acceso y los costos en salud demuestran la necesidad desesperada de herramientas de ingeniería y de Tecnologías de la Información para encontrarles soluciones. Esta misma complejidad debe servir como reto para ingenieros y arquitectos de sistemas, en el sentido de convocarlos a desarrollar procesos de transformación a la atención en salud y a priorizar la calidad del servicio para los diferentes actores del sistema: pacientes, médicos, enfermeras, administradores, aseguradores y reguladores, entre otros. Se requiere más y mejores herramientas y tecnologías orientadas a medir y optimizar el rendimiento del sistema, porque la salud es una necesidad social que requiere seguridad, efectividad, orientación al paciente y cumplimiento. Asimismo, el sistema también debe ser capaz de anticipar, medir y gestionar diagnósticos y tratamientos para mejorar su rendimiento, equidad, eficiencia y productividad.

Para lograrlo es necesario que la ingeniería y las ciencias de la salud, como socios naturales para enfrentar estos desafíos, capaciten a sus profesionales en los métodos, las métricas, los valores y las mentalidades interrelacionadas. De la misma manera que estas disciplinas se unieron para diseñar y desarrollar herramientas y tecnologías para el diagnóstico de enfermedades, también deberán hacerlo para que los profesionales de la salud adquieran el conocimiento relacionado con las metodologías de investigación y resolución de problemas de la ingeniería, a la vez que los ingenieros lo hacen en relación con el complejo tejido socio-técnico del sistema de salud.

De esta manera se romperá la barrera de comunicación, ya que deberán estructurar un lenguaje común que les permita entablar la comunicación necesaria para solucionar los problemas que enfrenta dicho sistema. La razón es que las crisis en el cuidado de la salud continúan apareciendo en todo el mundo, con tendencia a empeorar, y la demanda es por un sistema centrado en el paciente y actualizado al siglo XXI, no solo con tecnología, sino también en atención donde las personas realmente sean importantes, pero al mismo tiempo debe ser seguro, efectivo, oportuno, eficiente y equitativo.

2. Ingeniería Médica

Formar y capacitar la próxima generación de profesionales, que abordará y solucionará los cada vez más complejos problemas de la sociedad, requiere un cambio drástico en la forma como se piensa y lleva a cabo la educación en este siglo ([Begg et al., 2015](#); [Serna, 2015](#); [Serna y Serna, 2021](#)). El enfoque disciplinar tradicional y las didácticas y las metodologías del sistema de educación actual no les permitirán adquirir la conciencia y el conocimiento, ni desarrollar las habilidades que les exige el Nuevo Orden Mundial ([Serna, 2021](#)). Muchos científicos y algunos responsables políticos reconocen la necesidad de revolucionar el sistema y estructurar uno que realmente los forme como personas y los capacite como profesionales mediante programas transdisciplinarios ([Serna, 2015](#)). Porque los estudiantes de hoy ejercerán su profesión en un mercado laboral muy diferente al que se vive en esta década ([Serna, 2019](#)).

Esta solicitud por la integración de diversas disciplinas en programas de formación profesional no ha sido ajena a la ingeniería y la medicina, y en respuesta se han llevado a cabo iniciativas para formar transdisciplinariamente a la próxima generación de médicos e ingenieros. Si bien es cierto que existe una intersección natural entre la ingeniería y la salud, porque el objetivo

de ambas disciplinas es construir comunidad y mejorar la calidad de vida de las personas, cuando se analiza la formación compartida que se imparte en esa intersección los resultados todavía son desalentadores. Actualmente, la sinergia en este sentido es ad-hoc y parece más un accidente histórico que una verdadera intención social. La realidad es que todavía, en gran parte del planeta, se considera que la salud y la ingeniería son disciplinas dispares.

La idea de muchas facultades hoy es que los médicos se deben formar y capacitar en medicina, pero que además adquieran conocimiento de los aportes y desarrollos que les ofrecen otras disciplinas, como la ingeniería, con la intención de que mejoren sus diagnósticos y tratamientos. En tanto que los ingenieros, además de sólidas bases en una disciplina ingenieril, deberán aprender del sistema de salud y sus problemas y necesidades. De esta manera ambos adquirirán habilidades técnicas, profesionales y personales para liderar y ser agentes creativos para ejercer en el mundo global y cambiante de la Nueva Era. Estos profesionales se obligarán, entre otras cosas, a apoyar la investigación en nuevos modelos teóricos; integrar métodos, prácticas y teorías basadas en la creatividad; y estructurar enfoques innovadores que fomenten la innovación permanente en el sistema de salud.

En algunos países esta iniciativa ha generado programas conocidos como Ingeniería Médica, cuyo objetivo es capacitar a los estudiantes de ingeniería para que desarrollen soluciones tecnológicas a los problemas médicos, mediante programas en los que reciben una amplia capacitación en medicina y en ciencias ingenieriles. Estos programas, iniciados desde comienzos de siglo, se conformaron como campos transdisciplinares y su meta inicial fue capacitar a los estudiantes para que ofrecieran soluciones tecnológicas a los problemas del sistema de salud, desde la atención y la práctica, hasta la automatización. Los frutos no se han hecho esperar y hoy los médicos tienen a su disposición nuevas tecnologías para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades.

Cabe mencionar que, gracias a la telemedicina, los sensores en miniatura y los incontables procedimientos no invasivos aparecidos en la última década, se revolucionó la práctica en todo el mundo. El éxito de esto se debe a que la Ingeniería Médica se concibe bajo los principios de la investigación y el desarrollo, en los cuales se integran diversas disciplinas que antes parecían incompatibles ([Enderle y Bronzino, 2012](#)).

La Ingeniería Médica emerge entonces como una disciplina propiamente dicha en la que los estudiantes se capacitan tanto en medicina como en la ingeniería, a través de planes de estudios desafiantes que estimulan el desarrollo del pensamiento de alto nivel, mediante una integración de conocimientos desde diversas disciplinas, con resultados que han posibilitado el desarrollo de áreas completamente nuevas ([Edström, Svante y Sören, 2007](#)). En ellas se ha logrado avances en el conocimiento y las tecnologías que, a su vez, conducen a la innovación y el desarrollo de productos revolucionarios para el beneficio de los pacientes y la economía del sistema de salud. Al trabajar de forma colaborativa y transdisciplinar, tanto la ingeniería como la medicina descubren y crean nuevo conocimiento, motivando en el proceso a la inversión de patrocinadores y de financiadores para la investigación.

Actualmente, se reconoce la existencia y se utilizan ampliamente muchos de los descubrimientos científicos provenientes de este trabajo. Lo que es igualmente importante en la investigación orientada a la preparación para los problemas venideros, porque los datos e información que estos descubrimientos les brindan a los científicos, apoyan el desarrollo de nuevos productos o servicios, involucrando cada vez a un conjunto más amplio de disciplinas. En las últimas décadas de trabajo colaborativo entre la ingeniería y la medicina ha sido posible integrar actores de la industria, proveedores de atención médica, médicos, pacientes, reguladores, responsables políticos, financiadores y patrocinadores, y también a investigadores de diversas áreas del conocimiento.

Desafortunadamente, cuestiones como la función y el calendario de las evaluaciones preclínicas, las evaluaciones en animales, el punto en el que se realiza un estudio clínico, el punto de entrada y el momento de comercialización y el ciclo de vida de estos productos varían considerablemente. Sin contar los innumerables desafíos y oportunidades que puedan aparecer en el proceso. Esta situación genera una amplia diferenciación en el desarrollo comercial y la adopción de mercados para los desarrollos de la Ingeniería Médica, haciendo que los hospitales pasen de ser lugares para el diagnóstico, tratamiento y erradicación de enfermedades, a convertirse en puntos focales para la promoción de técnicas y tecnologías sofisticadas.

Con esto se incrementa sustancialmente el costo de la atención en el servicio de salud y, por lo tanto, afecta el bolsillo de los usuarios. Esta cuestión deberá ser tenida en cuenta en la discusión y formulación de las políticas que los estados realizan en relación con la salud, además de comprometer recursos para garantizar una atención equitativa para toda la población.

3. Reflexión y proyección

El trabajo transdisciplinario de la ingeniería y la medicina ha propiciado en las últimas décadas numerosos desarrollos que impactan la vida de las sociedades en todo el mundo. Aunque en ocasiones se pasa por alto el rol de la ingeniería en los logros que desde mediados del siglo pasado disfruta la humanidad, no se puede ocultar su protagonismo en el mejoramiento de aspectos relacionados con el saneamiento, suministro de agua, disponibilidad de alimentos, medicamentos y dispositivos médicos que, sin su participación, es probable que no hubieran sido posibles. La perspectiva es que, en la próxima década, y a medida que toman mayor conciencia de sus necesidades multidimensionales, se darán progresos con mayor significancia, especialmente en innovaciones tecnológicas alrededor de la medicina regenerativa, nanotecnología, imágenes y bioenergía, pero también en políticas relacionadas con estándares de fabricación y procedimientos regulatorios.

Como bien se sabe, los ingenieros y los médicos no pueden resolver solos los complejos problemas sociales, por lo tanto, se va a necesitar el apoyo de científicos, corporaciones, industrias, responsables políticos, pacientes y grupos de defensa ética, para enfrentar la complejidad de los problemas mediante una cooperación continua y mejorada entre la academia, la industria, el estado y la sociedad. Los desafíos emergentes de las próximas décadas exigen desde ya la estructuración de métodos de trabajo y recursos completamente nuevos, que todavía no están completamente disponibles. Además, muchos de esos desafíos son transversales e involucrarán diversas disciplinas, por lo que es urgente comenzar a formar y capacitar a los profesionales que los enfrentarán.

También hay que tener en cuenta que el movimiento demográfico mundial generará un desafío importante, donde la ingeniería y la medicina deberán garantizar que las soluciones en salud sean eficientes, a un costo moderado y que se puedan utilizar en todo tipo de grupos de individuos. La meta es abordar las disparidades sociales desde la parte delantera de las nuevas tecnologías, en lugar de hacerlo después de una implementación exitosa en ciertas poblaciones. De forma paralela a la reducción de las disparidades en el sistema de salud, también hay que hacerlo en la disponibilidad de la educación y el acceso a los programas de ingeniería y salud, porque si se conforma una fuerza laboral más diversa se podrá mejorar los desarrollos e implementaciones de nuevas tecnologías.

Es cierto que el sistema de salud enfrenta desafíos complejos, tales como identificar, diagnosticar y tratar enfermedades o lesiones, pero con un trabajo transdisciplinario como el que viene realizando con la ingeniería, podrá abordarlos mediante avances tecnológicos y enfoques de vanguardia. De esta manera las personas con condiciones médicas complicadas podrán disfrutar una mejor calidad de vida. Esta visión le ofrecerá al sistema de salud, históricamente centrado en el tratamiento de enfermedades, beneficios sustanciales a partir de la utilización de los desarrollos ingenieriles, pero también de sus modelos, procesos y metodologías. Las personas, ya sean sanas, lesionadas o enfermas, se beneficiarán del monitoreo preciso y la intervención temprana, lo que a su vez reducirá los consecuentes tratamientos costosos e invasivos.

En otras palabras, en las próximas décadas el trabajo transdisciplinario entre la ingeniería y la medicina tendrá que desarrollar sistemas y tecnologías de apoyo a la salud humana y animal, con el objetivo de salvaguardar la salud, prevenir enfermedades y realizar diagnósticos rápidos y precisos, monitoreo oportuno y tratamientos efectivos.

A continuación, se describe algunas áreas en las que se necesitará mayor esfuerzo de trabajo colaborativo entre la ingeniería y las ciencias de la vida, que seguramente serán cada vez más importantes en la medida que la humanidad ingresa en la Nueva Era.

- **Cerebro.** Desde finales del siglo XX la atención a las enfermedades cerebrales superó el valor combinado de atender las relacionadas con el corazón y el cáncer. Pero en este siglo y a partir de las investigaciones en Neurocomputación, los neurólogos han mejorado su comprensión sobre cómo funciona el cerebro y las farmacéuticas desarrollaron nuevos medicamentos para combatir las enfermedades relacionadas. Aun así, se necesita mayor investigación conjunta para mejorar la comprensión del sistema nervioso humano, especialmente en sensores de imagen de inspiración biológica, modelos computacionales y tolerancia del cuerpo a las fallas cerebrales ([Furber, 2016](#)).
- **Alimentos.** Con el incremento constante de la población y la disminución progresiva de las áreas para el cultivo y la ganadería, los países se enfrentan al desafío de alimentar a los habitantes de manera sostenible. Para [Pearson, Friel y Lawrence \(2014\)](#) la producción de alimentos en el mundo tendrá que crecer hasta un 75% en las próximas décadas. Pero solo será posible si la ingeniería y las ciencias de la vida desarrollan importantes innovaciones para la protección

de cultivos, mejorar la recolección de nutrientes clave, mejorar el reciclaje de agua y aplicar mejores prácticas agrícolas. Estos desarrollos deberán provenir de nuevas tecnologías en cuyo diseño y desarrollo se involucren ingenierías como la química, electrónica y mecánica, en un trabajo estrecho con las Ciencias Computacionales y las ciencias de la salud.

- **Grandes datos.** Los avances en el área de los grandes datos dependerán mayormente de que los profesionales desarrollen habilidades y conocimientos en ingeniería y en ciencias físicas. A raíz del incremento constante en el volumen de datos que se comparten en el mundo, especialmente en relación con la salud de las personas, se volverá cada vez más complicado analizarlos y, en las próximas décadas, incrementarán su impacto en la investigación médica y la prestación del servicio de salud. Por eso hay que formar y capacitar a los ingenieros y a los médicos para utilizar grandes datos provenientes, por ejemplo, de la secuenciación del genoma, con lo cual las ciencias de la salud podrán descifrar las enfermedades y los médicos diagnosticarán y recetarán con mayor precisión, porque conocerán de mejor forma las características únicas de cada paciente ([Bell, 2018](#)). Este es un reto para que los científicos de datos, computacionales y de la salud trabajen con ingenieros para analizar e interpretar los datos de forma efectiva.
- **Medicamentos.** Sin bien en las últimas décadas se ha dado pasos agigantados en el descubrimiento y mejoramiento de la efectividad de los medicamentos, generando esperanza de vida casi normal para las personas, también han surgido pandemias nuevas y mutaciones de enfermedades que obligan a cambiar radicalmente las perspectivas de la investigación en esta área. Para estar a tono con esta situación y mantener una revolución constante en el cuidado de la salud, la ingeniería y las ciencias de la vida deben desarrollar nuevos procesos e innovar los existentes en áreas como la Ciencias Computacionales, la ingeniería de tejidos, la química y las imágenes moleculares ([Vallance, 2011](#)).
- **Formación y capacitación.** La humanidad se dirige a una Nueva Era en la que el conocimiento de hoy se volverá obsoleto rápidamente ([Serna, 2019](#)). Un escenario para el que todas las disciplinas ya deberían estar haciendo los ajustes y preparándose para atender las nuevas y totalmente diferentes demandas de la sociedad. Pero la obligación central recae en el sistema de educación, porque hasta ahora no demuestra progresos sustanciales ni voluntad para el cambio. Los estudiantes de hoy necesitan desarrollar habilidades nuevas, que les permita desempeñarse en puestos de trabajo que todavía no existen, con responsabilidades que nadie conoce, pero con suficiente capacidad como para evitar el estancamiento de la humanidad ([Serna, 2021](#)). Se necesita un sistema que realmente forme personas y capacite profesionales para la Nueva Era, no para el siglo XIX, y eso solamente será posible si los actores responsables se unen, especialmente en lo que tiene que ver con la salud y el bienestar de las personas, porque la humanidad podría no tener una segunda oportunidad ([Serna, 2019](#)).
- **Atención médica.** Desde finales del siglo pasado la sociedad enfrenta desafíos en la atención médica, que serán más agudos en las próximas décadas, tales como enfermedades no transmisibles, costos crecientes, nuevos virus y prevención y tratamientos efectivos. Si bien los avances logrados hasta ahora han ayudado a mejorar la salud, a incrementar la esperanza de vida y a mejorar los procedimientos quirúrgicos y los dispositivos médicos, el reto que se avecina es desarrollar tratamientos y diagnósticos nuevos y disruptivos. Esto será posible si los ingenieros y los científicos de la salud aprovechan los grandes datos y los médicos tienen en cuenta la fisiología propia de cada ser humano, para tomar mejores decisiones ([Darzi, 2018](#)). A este respecto se necesita el desarrollo paralelo de la robótica, la inteligencia artificial, la realidad virtual y las Ciencias Computacionales, para crear tecnologías y dispositivos en los que se integre la información conocida de los seres vivos y se descubra la nueva que pueda aparecer.

4. Conclusiones

El trabajo conjunto entre la ingeniería y las ciencias de la salud consiste en utilizar principios y prácticas matemáticas, junto con ciencias físicas y conocimiento médico, para el mejoramiento y la innovación del sistema de salud. Las posibilidades de interacción entre estas disciplinas se han ampliado desde finales del siglo pasado, en la misma medida que se descubrían nuevas maneras de aplicar los conceptos y metodologías de la ingeniería en el estudio y el análisis del cuerpo humano, pero también para el mismo sistema. Estas aplicaciones generaron cambios revolucionarios en la organización, mecanismos operativos y de gestión, y en las interacciones personales y financieras de la atención médica.

Por otro lado, mientras se lograba esa sinergia también se incrementaron los costos de la salud y, aunque se acentúo la base financiera del sistema, no pasó mucho tiempo antes de que los patrones cambiantes de pago desarmonizaran con la disponibilidad y la calidad de la atención médica, generando presiones explosivas entre los actores.

Como era de esperarse la falta de políticas claras y equitativas para la administración del sistema, ya fuera por la poca gestión de los gobiernos o por los intereses económicos de las grandes corporaciones, terminaron en problemas sociales con consecuencias políticas graves en muchos países.

Hoy, con la materialización de los acuerdos en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que vienen trabajando la ingeniería y la medicina, surgen nuevas tensiones relacionadas con la falta de legislaciones adecuadas y de participación social. La situación se ha volcado en demandas legales por malas prácticas, diagnósticos equivocados y tratamientos poco efectivos, con las que los pacientes buscan una retribución social justa por parte de los estados, además de que algunas innovaciones tecnológicas se aplican sin las condiciones adecuadas de ética y moral.

Para solucionar estos y muchos otros problemas, desde hace varias décadas se encontraron puntos comunes de trabajo transdisciplinario entre la ingeniería y las ciencias de la vida, cuyo objetivo es aprovechar la sabiduría acumulada y el conocimiento descubierto y creado desde cada una, para adaptar el sistema de salud a las cambiantes condiciones de la Nueva Era en las próximas décadas.

Como se ha descrito en este trabajo la aplicación de los principios de la ingeniería a los problemas de la salud representa una oportunidad prometedora, aunque desafiante, para innovar el sistema de salud y alcanzar el progreso de la medicina en beneficio de los pacientes. Estas interacciones ya han producido cambios y tecnologías sorprendentes que mejoran la calidad de vida, pero todavía queda mucho trabajo por realizar, especialmente en lo que tiene que ver con la administración propiamente del sistema de salud. Pero ya que es una fusión joven y todavía quedan muchas cuestiones por resolver, hay que tener paciencia y apoyar el trabajo desde todas las disciplinas que se pueda con la participación de la mayor cantidad de actores posible. Uno de los objetivos más ambiciosos será transformar el alto volumen de datos y conocimientos sobre los sistemas de vida y las enfermedades, en herramientas efectivas para mejorar los diagnósticos, tratamientos y fármacos.

En todo caso, la ingeniería puede aportar mucho más en esta relación y ayudar a mejorar, además de las herramientas tecnológicas, el funcionamiento del sistema de salud. Asimismo, se espera que las proyecciones para las próximas décadas le permitan a la humanidad disfrutar de una mejor atención y de medicamentos más efectivos, sustentados en profesionales mejor capacitados desde lo ingenieril y lo médico, porque fueron formados y capacitados en un nuevo sistema de educación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. BEGG, Melissa; MICHELLE, Bennett; CICUTTO Lisa; GADLIN, Howard; MOSS, Marc; TENTLER, John; SCHOENBAUM, Ellie. Graduate education for the future: New models and methods for the clinical and translational workforce. En: Clinical and Translational Science. 2015. Vol. 8, No. 6, p. 787-792. <https://doi.org/10.1111/cts.12359>
2. BELL, John. Life Sciences Industrial Strategy – A report to the government from the life sciences sector. Select Committee on Artificial Intelligence. London: House of Lords, 2018. <https://www.whitehouse.gov/ostp/nstc/select-committee-on-artificial-intelligence/>
3. DARZI, Lord. The Lord Darzi review of health and care - Interim report. UK: Institute for Public Policy Research, 2018. <https://www.ippr.org/publications/darzi-review-interim-report>
4. EDSTRÖM, Kristina; SVANTE, Gunnarsson; SÖREN, Östlund. Integrated Curriculum Design. En: CRAWLEY, Johan; EDWARD, Malmqvist; SÖREN, Östlund; DORIS, Brodeur (Eds), Rethinking Engineering Education. Germany: Springer, 2007. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-38290-6_4
5. ENDERLE, John; BRONZINO, Joshep. Introduction to biomedical engineering. USA: Academic press, 2012. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123749796/introduction-to-biomedical-engineering>
6. FURBER, Steve. SpiNNaker – An architecture for realtime brain modelling. En: ChipEx 2016 Conference. Tel Aviv, Israel, 2016. http://www.chipex.co.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/SteveFurberPlenarySession.pdf
7. PEARSON, David; FRIEL, Sharon; LAWRENCE, Mark. Building environmentally sustainable food systems on informed citizen choices: Evidence from Australia. En: Biological Agriculture & Horticulture. 2014. Vol. 30, No. 3, p. 183-197. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.890542>
8. ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. Engineering for health. A report of Panel for Biomedical Engineering. UK: Royal Academy of Engineering, 2012. <https://www.raeng.org.uk/policy/policy-themes/engineering-in-society/panel-for-biomedical-engineering>
9. SERNA, Edgar. Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2015. https://www.academia.edu/12862366/Por_qu%C3%A9_falla_el_sistema_de_educaci%C3%B3n
10. SERNA, Edgar. Educación para un nuevo orden mundial - Retos de un escenario emergente para la formación y la capacitación de una nueva categoría de estudiantes. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2656489>
11. SERNA, Edgar; SERNA, Alexei. Educación siglo XXI. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2021. <https://www.textos.info/edgar-serna-m-alexei-serna-a/educacion-siglo-xxi/descargar-pdf>

12. SERNA, Edgar. Educación Virtual – Educación Inteligente. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4711263>
13. VALLANCE, Patrick. SVP. En: Cowen healthcare Conference. Boston, USA, 2011. <https://www.gsk.com/media/2630/gsks-patrick-vallance-presentation-at-cowen-healthcare-conference.pdf>
14. WALTMAN, Ludo; VAN RAAN, Anthony; SMART, Sue.. Exploring the relationship between the engineering and physical sciences and the health and life sciences by advanced bibliometric methods. En: Plos One. 2014. Vol. 9, No. 10, p. e111530. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111530>