

Nuevas necesidades en ingeniería para el desarrollo de la biotecnología

Dolly Montoya C.¹

La Universidad y la visión de largo plazo

La visión de largo plazo de la Universidad debe tener en consideración el entorno internacional cambiante, los tratados internacionales, las relaciones de interdependencia, nuevas relaciones, nuevos actores sociales, cambio de roles entre Universidad-Empresa-Estado, y ampliación de la brecha económica y tecnológica entre países y regiones. Los nuevos paradigmas de la sociedad del conocimiento en el campo educativo obligan a desarrollar un pensamiento estratégico para solucionar problemas complejos y procesos permanentes de innovación en todas las áreas a través del conocimiento como elemento fundamental para disminuir la brecha económica.

Sólo una comunidad académica consciente de las transformaciones radicales que precisa la sociedad para estar a la altura de la novedosa situación con que nos ha tocado vivir, puede enfrentar los retos perentorios que la Universidad ha de asumir, a través de un currículo abierto y flexible agenciado por académicos de las mismas características en su pensar, sentir y actuar. El fortalecimiento de la evaluación, como proceso permanente, desemboca en el mejoramiento continuo y en una cultura de innovación, que entienden la excelencia no como sinónimo de perfección, sino como medio de crecimiento y avance personal y profesional. Ante un mundo económica, política y socialmente cambiante no podríamos hacer mejor propuesta que la apertura, la que nos llevará a captar de manera oportuna los factores de cambio, lo que nos permitirá afrontarlos creativa y ventajosamente.

Las organizaciones de educación superior posibilitan el escenario adecuado para la gestión del conocimiento, que se traduce en formas de convivencia humana. Muy por encima de las diversas temáticas que forman la urdimbre y la trama del quehacer universitario de todos los días, nuestra actividad mental y emocional –tan ligada a la representación de los objetos de estudio – ha sido guiada por el apremiante deseo de contribuir al desarrollo de la nación, e incorporarse cada vez en mayor medida al concierto global de las naciones del mundo. Muchos factores críticos para desarrollar una capacidad innovadora y una competencia sustentable están comprendidos en las redes, las comunidades, las empresas, la infraestructura de investigación y los sistemas regionales. Así, la innovación no depende solamente de la investigación y el desarrollo o de la inversión, sino que cada vez está más integrada a la formación del capital social, que contribuye más que cualquier otra variable a explicarla. Otra variable la constituye el desarrollo tecnológico.

¹ Ph.D. M.Sc. Directora Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia.

Transformar este conocimiento en bienestar social y crecimiento económico sólo es posible a través de la innovación. Por lo anterior, es responsabilidad de la Universidad el diseño de políticas y estrategias que fomenten la innovación como parte del proceso de gestión del conocimiento propio, integrado a la formación del capital social. Estas políticas deben lograr la creación de nuevas alianzas universidad-industria-sociedad civil-Estado, que a través del intercambio de saberes procuren un desarrollo armónico de nación. Por su parte, la Universidad debe fomentar la concepción innovadora de una educación abierta, flexible e interdisciplinaria, en la cual el proceso pedagógico tenga como eje y núcleo central los sujetos que se comunican y dialogan en torno a sus síntesis sobre el saber acumulado.

La biotecnología requiere una visión integradora del conocimiento

Las Naciones Unidas definen biotecnología como “cualquier aplicación tecnológica que use sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para hacer o modificar productos o procesos para un uso específico”.

El desafío tecnológico que plantea la manipulación de los componentes de la célula, ha sido enfrentado desde sus comienzos en una forma interdisciplinaria. Por ejemplo, en los años cincuenta, la determinación de la estructura molecular del ADN y su proceso de conversión a proteínas (dogma central de la biología molecular), realizado por Watson y Crick, fue posible gracias a los aportes realizados por investigadores en diferentes áreas como la física, la química y la biología en la décadas de los treinta y cuarenta, especialmente la invención de la cristalografía de rayos X.

Otra muestra de esta interdisciplinaria es el surgimiento, a finales de la Segunda Guerra Mundial, de la moderna ingeniería bioquímica a través de la fusión y el trabajo de investigadores en bioquímica, genética microbiana e ingeniería, como una respuesta a la urgente necesidad de solucionar problemas que nunca antes se habían presentado, en el escalamiento, oxigenación y mezclado para la producción de antibióticos.

A pesar de esta colaboración innata de las ciencias, en la biotecnología tradicional el proceso de llevar los descubrimientos realizados en el laboratorio a la industria ha tomado entre diez y veinte años. Por ejemplo, el inicio –a principio de los años setenta– de la era de la ingeniería genética, con el descubrimiento y la aplicación de los procesos de ADN recombinante en los cuales cualquier fragmento de ADN podía ser introducido y clonado en diferentes tipos de células, fue aplicado industrialmente en 1978 cuando la empresa Genotech produjo insulina humana en la bacteria *E. coli*.

La hormona humana de crecimiento (HGH) se intentó sintetizar en los años treinta, cuando el doctor Choh Hao Li, en el laboratorio de biología experimental de la Universidad de California, buscaba aislar hormonas. Solo hasta 1971, la hormona HGH fue exitosamente sintetizada de glándulas pituitarias de cadáveres humanos y, finalmente, hasta 1985 se produjo industrialmente una versión sintética de la hormona de crecimiento humana, la cual tuvo un desempeño similar a la hormona de crecimiento naturalmente producida.

Con base en los avances realizados en los años ochenta y noventa se generaron las primeras tecnologías con amplia producción de información y conociemien-





to (la secuenciación de ADN y la técnica de reacción en cadena de la polimerasa, PCR). En la actualidad, la biotecnología ha alcanzado un nuevo nivel de desarrollo, "la era posgenómica", la cual, basada en la comunicación celular, los genes que se transcriben para sintetizar proteínas y producción de metabolitos (dogma central), ha estimulado la investigación de las ciencias ómicas (proteómica, transcriptómica y metabolómica, entre otras). Éstas han demostrado que el sistema biológico va más allá del dogma central, con interacciones complejas entre las estructuras genéticas y proteicas, y que existen diferentes niveles de control de expresión génica que aún no han sido completamente entendidos.

Estos avances han estado acompañados del uso de nuevas técnicas de producción masiva de información, como los microarreglos, los geles 2D y los sistemas dobles de cromatografía de gases, seguidos de espectrometría de masas, y de la optimización de otras técnicas. Así, con el método sanger, se logró secuenciar en la década de los ochenta hasta 67.000 bases nitrogenadas con un 99,4% de exactitud en una hora; con las técnicas actuales se pueden alcanzar a secuenciar en el mismo tiempo hasta 250.000 bases con una exactitud del 99,9%.

Todos estos descubrimientos y avances han llevado a la biotecnología a nuevas aplicaciones como la terapia génica, la farmacogenómica, la obtención de biocombustibles y biomateriales, la producción de biofertilizantes y la utilización de cultivos con organismos genéticamente modificados. Estas nuevas aplicaciones, junto con la presente situación sociopolítica y ambiental mundial, han mostrado las limitaciones que tiene la biotecnología tradicional y han presionado por el nacimiento y desarrollo de una nueva estructura industrial mundial enfocada en las tres áreas biotecnológicas principales: medicina o biotecnología roja, industria química o biotecnología blanca y agrícola o biotecnología verde. Esta tecnología del futuro debe disminuir la dependencia mundial al petróleo, encontrar en los recursos renovables (como por ejemplo los materiales celulósicos) una nueva fuente de energía y materia prima para la industria, y aprovechar las ventajas ambientales que ofrece la implementación a gran escala de procesos de producción biotecnológicos.

Esta exigencia ha planteado la necesidad de desarrollos tecnológicos de mayor envergadura, que deben partir de una aproximación integral del conocimiento al relacionar de manera sinérgica las diferentes áreas del saber como la ingeniería, específicamente en las áreas de la informática, la robótica, la electrónica, la mecatrónica, la teoría del control y la nanotecnología, con las ciencias puras tradicionales como son la física, la química, la biología, las matemáticas, etc.

Esta nueva revolución tecnológica afectará la forma en que vivimos, por lo cual también se necesita la intervención de las ciencias humanas por medio de la filosofía, el derecho, la educación y la economía, procurando el desarrollo sostenible en armonía con la biodiversidad y el medioambiente, y fortaleciendo áreas y ocupaciones emergentes como la bioseguridad, la bioética, la bioeconomía, la bioeducación y la biopolítica.

Participación de la ingeniería en la biotecnología del futuro

La biotecnología tradicional ha tratado de manipular las biomoléculas, las células y los organismos desde un punto de vista empírico; sin embargo, se puede observar el aporte de la ingeniería en los diferentes niveles de investigación. En el nivel de laboratorio, aporta el desarrollo de equipos de soporte para el trabajo de aisla-

miento y caracterización del crecimiento de los microorganismos. En los procesos de escalamiento las ingenierías han tenido un papel decisivo en la biotecnología. En este nivel, podemos observar dos etapas de desarrollo: la primera desde los años sesenta hasta los ochenta, tiempo en el cual se desarrollaron, entre otros, los modelos cinéticos no estructurados de crecimiento, las cinéticas de mezclado en reactores, los sistemas de instrumentación y control en bioprocesos, los procesos de inmovilización de enzimas, el diseño de biorreactores y avances en la producción de proteína celular. Esta etapa ha sido definida como la fase evolutiva de la ingeniería bioquímica.

La segunda etapa, denominada fase de crecimiento, ha sido establecida entre los años ochenta y 2000. Como resultado del aporte de la ingeniería a la biotecnología en esta etapa se han desarrollado y masificado tecnologías emergentes como el ADN recombinante, de hibridoma, cultivo celular, modelos moleculares, cromatografía de proteínas a gran escala, secuenciamiento de ADN y proteínas, la ingeniería metabólica y la tecnología de biorremediación, entre otras. Por sí mismos, estos avances han revolucionado profunda y permanentemente la ingeniería bioquímica, definida como la ciencia que intercomunica la investigación en ciencias básicas e ingeniería para poder escalar los procesos biotecnológicos a un nivel industrial.

Esta revolución marca el inicio de una tercera etapa, la cual plantea nuevos desafíos para dilucidar los secretos que se ocultan en el entendimiento de las complejas redes bioquímicas (Vasic-Racki, 2006). Este trabajo requiere no solo una lista de las “partes”, como es la información suministrada, por ejemplo, con el secuenciamiento del genoma, sino que es necesario conocer cómo las partes operan juntas, cómo los genes y las proteínas modifican su comportamiento, cómo forman circuitos análogos a semejanza de los sistemas electrónicos, entre otros. Este entendimiento profundo y detallado de los procesos celulares ha sido definido como el sistema biológico (*biology systems*). Este sistema se basa fundamentalmente en el desarrollo de nuevas herramientas tales como sistemas complejos de modelos computacionales, bioinformática y técnicas experimentales para explorar la expresión de genes.

Por lo anterior, los métodos tradicionales de investigación bioquímica y biotecnológica, tales como la modificación de proteínas y de la información genética en el ADN, tienen que evolucionar hacia un grado de madurez en el cual puedan ser usados para el rediseño de las interacciones y rutas bioquímicas de las células vivas. También se necesita desarrollar técnicas de síntesis rápida de ADN con secuencias específicas para construir genes y operones artificiales, llegando a pensar en organismos vivos completamente sintéticos (EC, 2005).

Para lograr estos avances, y soportar el entendimiento del sistema biológico, se necesitan nuevos “ingenieros biológicos” que desarrollen a través del conocimiento interdisciplinario destrezas en las ciencias biológicas, químicas y computacionales. Con ingenieros diestros en estas áreas, se lograrán avances en un amplio rango, desde la medicina hasta la generación de energía. Se podrán diseñar rutas bioquímicas y microorganismos completos capaces de producir desde medicamentos hasta intermediarios químicos de consumo masivo partiendo de diferentes sustratos, sin efectos de inhibición.

También se desarrollarán herramientas y dispositivos nanoescalados capaces de censar y responder a cambios en el estado de salud de pacientes, permitiendo





una asistencia pormenorizada en el combate de las enfermedades en sus fases iniciales de desarrollo. Igualmente, se logrará diseñar medicamentos inteligentes y materiales útiles ambientalmente compatibles (polímeros, solventes, etc.). Por último, con los avances en el manejo de la materia a niveles moleculares se podrán desarrollar nuevos biosensores y sistemas de detección de contaminantes, agentes tóxicos y explosivos, que serán acoplados a sistemas de desensamblamiento y destrucción más seguros.

Cambio de paradigma en América Latina

A partir de la creciente evolución tecnológica, en la última década se ha presentado un cambio en el entorno del estudio de la biología al punto que los conceptos y modelos están siendo cada vez más cuantitativos y las investigaciones están llegando a escenarios en que se depende de los conceptos y métodos empleados en disciplinas científicas totalmente diferentes (NAP, 2003).

Tradicionalmente, en América Latina se ha manejado el desarrollo de la biotecnología como un área independiente y ajena a las demás ciencias y tecnologías, en la que solo prima el interés por la biología y el conocimiento del entorno celular, dejando su aplicabilidad de lado. Se han realizado diversidad de investigaciones, proyectos y programas en los que solo se desea observar un determinado gen o un fragmento celular sin que se realice una conceptualización biológica del organismo al estudiarlo como un todo. Por esta razón, son contados los procesos que han llegado a un escalamiento y menos aquellos que alcanzan el nivel industrial.

Esta situación resalta el vacío de comunicación existente entre dos áreas claves para el desarrollo de una industria sostenible: la ingeniería y la biología. Este vacío se ha visto reflejado en el rezago de los avances en biotecnología en nuestro país comparados con naciones como Brasil, México y Chile, a pesar de tener uno de los primeros puestos en biodiversidad a nivel mundial. Lo anterior queda en evidencia al realizar un seguimiento a la capacidad de innovación reflejada en el número de patentes producidas por los diferentes países. Acorde con las estadísticas proporcionadas por Eurostat, en el año 2003 Estados Unidos realizó 3331 registros de patentes de aplicación sobre biotecnología en la EPO mientras que Europa obtuvo 2576 y Japón 1035 aplicaciones. En el entorno Europeo, el liderazgo lo posee Alemania con 901 patentes, seguido del Reino Unido con 416 patentes, y Francia con 370 patentes, lo que representa cerca del 65% de la producción del eje europeo (Bernard, 2007).

Un estudio generalizado sobre la participación de las universidades en desarrollos de innovación biotecnológica a nivel mundial a partir de las patentes hasta el año 2007, muestra con claridad la supremacía de Estados Unidos de América al disponer de 53.746 registros mientras que Colombia se ubica en el puesto 59 a nivel mundial y el sexto a nivel latinoamericano con tan solo 9 registros detrás de México, Brasil, Argentina, Venezuela y Chile. Vale la pena resaltar que los autores referenciados para Colombia pertenecen a universidades extranjeras de Estados Unidos, Canadá y Francia (Montalvo, artículo no publicado).

Esta situación plantea la necesidad de una evolución en la academia, aumentando la interacción entre dos áreas claves: la ingeniería y la biología. Para lograr acortar la distancia con los países desarrollados, es necesario cambiar el paradig-

ma actual e iniciar un proceso integrador entre las facultades que se encargan de las ciencias de la vida y las de ingeniería para formar un dúo que permita impulsar el avance biotecnológico, teniendo siempre presente la participación del sector empresarial como centro de financiación e innovación.

Transformar la educación superior es un reto del presente

Algunos criterios fundamentales deben alumbrar los cambios de paradigma de la educación superior.

La función integradora de la Universidad

La investigación en las ciencias de la vida ha tomado conceptos que se han desarrollado en el marco de otras disciplinas científicas. Desde esta perspectiva, teniendo en cuenta que la Universidad es el escenario natural de encuentro entre diferentes formas de conocimiento, donde tienen comunión los saberes humanísticos y científicos integrados, es importante evaluar en qué medida el modelo de administración que han tenido las ciencias desde siempre en nuestra academia permitirá, a mediano y largo plazo, la interacción necesaria para que se generen aportes tangibles al bienestar del país, entendiendo que la innovación inherente a este bienestar pasa necesariamente por una comunicación armónica entre la Universidad y el entorno.

Con el conocimiento como eje central del proceso pedagógico, la educación superior debe crear un ambiente para la formación de jóvenes críticos, creativos, libres y autónomos, que contribuyan al desarrollo de nación, que sustenten la cotidianidad académica, para decantar una cosmovisión epistemológica y axiológicamente coherentes. Nuestra meta es la formación de estudiantes con amplia capacidad de abstracción y análisis, que debe ir acompañada por gran actitud para la experimentación, el trabajo en equipo y adaptación al cambio. La tendencia a la erudición en las actividades profesionales, en detrimento de la capacidad para buscar o generar nuevos conocimientos, ha propiciado limitaciones en la generación y adaptación al conocimiento científico, tecnológico y humanístico, los cuales en la actualidad cambian a gran velocidad.

Lo fundamental, por tanto, es el cambio hacia el concepto de crear conocimiento como imperativo para permanecer, y renovarlo es parte fundamental de pensar y hacer. Así, podríamos decir que desarrollamos acciones tendientes a hacer que nuestro quehacer trascienda las fronteras de la Universidad y sea proyectado socialmente, es decir, nuestra tarea es demostrar a la sociedad la importancia de la Universidad como motor del desarrollo y la conciencia crítica de nación que permita señalar rumbos y anticiparse a los hechos.

El fortalecimiento de la forma de evaluación

La evaluación tiene que ser vista, no como mecanismo punitivo, sino como un proceso permanente que desemboca en el mejoramiento continuo y en una cultura de innovación, que entienden la excelencia no como sinónimo de perfección sino como medio de crecimiento y avance personal y colectivo. La concepción educativa abierta y flexible, en la que el proceso pedagógico tiene como eje y núcleo central los sujetos que se comunican y dialogan en torno a sus síntesis sobre el





saber acumulado, es una concepción radicalmente opuesta a la de una educación rígida y fraccionada, donde el núcleo central es el saber estático, sistemas de evaluación que miden memorización, y un estudiante presa del temor, de inseguridad y de miedo a ser juzgado por “no saber”.

El trabajo disciplinario e interdisciplinario basado en el respeto a los demás investigadores y en el reconocimiento de la diferencia

En este mundo cambiante se requiere replantear la organización de la Universidad, pasar de la Universidad del pregrado a la integración con los posgrados y la innovación, mediante el currículo abierto y flexible, que procure el fortalecimiento de las disciplinas y la articulación del trabajo interdisciplinario (con el todo), con confluencia de saberes, para diseñar escenarios de futuro que la educación superior acompañe proyectar.

Retroalimentación permanente con la problemática social

Es preciso que el hilo conductor en la formulación e implementación de proyectos sea una actitud –y una dinámica– que hará que en su desarrollo se puedan tomar decisiones colectivas, sólo así será posible la ineludible búsqueda de pertinencia y correspondencia con el entorno; así, el aprendizaje se ha difundido mucho más allá del universo de los educadores, y se ha extendido a todos los niveles de la vida económica y social.

Con una academia que dialogue en su interior, y que tenga la capacidad de interactuar con empresas, productores, la sociedad civil y el Estado, se pueden esperar mejoras dramáticas en las condiciones de desarrollo. Adicionalmente, los programas educativos deben procurar la integración del conocimiento y del hacer relacionando las ciencias básicas y las profesiones, con las ciencias humanas y económicas que permitan generar planes y esquemas de acción con mayor profundidad y complejidad que garanticen resultados aplicables a las necesidades de la sociedad. Ello permitiría transformar el conocimiento en bienestar social y crecimiento económico y, por consiguiente, facilitar la creación de nuevas alianzas entre la Universidad y la sociedad en pro de hacer aplicables las investigaciones desarrolladas.

Es de resaltar el hecho que del total de alianzas biotecnológicas pactadas en los últimos años, el 99% fueron desarrolladas en Estados Unidos, Europa y Asia, mientras los continentes que disponen de la mayor biodiversidad y recursos, como son Latinoamérica y África, bordean solo el 1% restante (Siade, 2007).

Repensar la organización de los espacios académicos

Muy por encima de las diversas temáticas, la demanda más exigente para las Universidades es la configuración de formas de interacción de la academia con su entorno, que la lleven a trascender sus estructuras y formas actuales. La organización debe tener espacios de integración, superar la organización únicamente entorno a los programas de pregrado, cuyo efecto es una visión compartimentalizada de las funciones misionales docencia, investigación, desarrollo y extensión. Las organizaciones abiertas y flexibles de educación superior posibilitan el escenario adecuado para la gestión del conocimiento que se traduce en formas

de convivencia humana, caldo de cultivo en el que se ven desarrollar los más preciados valores sociales.

Agradecimientos

A los ingenieros químicos, M.Sc Óscar Aragón, Ivonne Albán y Diego Botero, quienes contribuyeron desinteresadamente con la revisión y el análisis de la información. A Juan Carlos Monsalve por proporcionarnos algunas cifras de su investigación. A la ENIM de Francia por ponernos a dibujar y sintetizar este tema.

Referencias bibliográficas

- Bernard, F. 2007. Boletín "Statistics in focus: Biotechnology in Europe" de Eurostat. ISSN 1977-0316. Unión Europea.
- 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. http://www.medtrad.org/panacea/IndiceGeneral/n12_tribuna_GClaros.pdf [Consulta: 2007-10-02].
- Margulies, M.; Egholm, M.; Altman, W.; Attiya, S.; Bader, J. *et ál*, 2005. Genome sequencing in microfabricated high-density picolitre reactors. *Nature*. 437(7057), 376-380. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1464427>. [Consulta: 2007-10-02]
- National Academies Press (NAP). 2003. Bio2010: transforming undergraduate education for future research biologists/Committee on Undergraduate Biology Education to Prepare Research Scientists for the 21st Century, Board on Life Sciences, Division on Earth and Life Studies, the National Research Council of the National Academies io 2010. USA. 2003. ISBN 0-309-08535-7. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10497 [Consulta: 2007-10-02].
- European Commission (EC). 2005. Synthetic Biology: Applying Engineering to Biology (Report of a NEST High-Level Expert Group). Report 21796. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nect/docs/syntheticbiology_b5_eur21796_en.pdf. [Consulta: 2007-10-02].
- Montalvo, J. 2007. Relaciones universidad-empresa en el ámbito de la innovación. Implicaciones para las negociaciones del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN), Documento de trabajo para la estructuración de artículo, Bogotá.
- Siade, G. 2007. La innovación cooperativa en biotecnología. Conferencia en el Primer Foro Internacional de Innovación Cooperativa, México, 14 y 15 de mayo.
- Vasic-Racki, D. 2006. History of Industrial Biotransformations – Dreams and Realities. En Andreas Liese, Karsten Seelbach, Christian Wandrey (eds.). *Industrial Biotransformations*. Copyright © 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 3-527-31001-0. http://www.wiley-vch.de/templates/pdf/3527310010_c01.pdf. [Consulta: 2007-10-02].

