



Repensar la bioprospección en América Latina

Propuestas para descubrir el valor de la biodiversidad

Cristian Desmarchelier
Coordinación de **Rafael Anta**



Noviembre 2024



Repensar la bioprospección en América Latina

Propuestas para descubrir el
valor de la biodiversidad

Cristian Desmarchelier, D.Sc.
Coordinación de Rafael Anta, IFD/CTI



División de Competitividad,
Tecnología e Innovación (IFD/CTI)

Clasificaciones JEL: O31, O32, Q56

Palabras clave: bioprospección, biodiversidad, bioeconomía, investigación, innovación, farmacología, bioquímica, bioinformática, genómica, metabolómica, robótica, recursos genéticos

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Banco Interamericano de Desarrollo
1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577
www.iadb.org

Resumen ejecutivo*

La bioprospección es la disciplina dedicada al estudio de la naturaleza orientado al hallazgo de organismos y sustancias con posibles usos para beneficio del ser humano, y que puedan tener un valor comercial en sectores como el industrial, el alimentario, el cosmético y el farmacéutico, entre otros. Es el primer eslabón de la cadena para el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, uno de los ejes de la bioeconomía.

En el capítulo 1 se expone la oportunidad que representa la biodiversidad para América Latina, donde se encuentran cinco de los 10 países más megabiodiversos del planeta (Brasil, Colombia, Perú, México y Ecuador) (The Swiftest, 2022) y un bioma amazónico compuesto por más de tres millones de especies (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2022). A su vez, se analiza el contraste de lo anterior con los distintos obstáculos o problemas asociados con los marcos regulatorios, el acceso a recursos genéticos y la dotación de recursos para investigación y desarrollo (I+D), que limitan la actividad de la bioprospección e impiden descubrir el valor de la biodiversidad.

En el capítulo 2 se describen los principales avances tecnológicos de los últimos decenios que tienen algún potencial para revolucionar esta disciplina. Entre ellos se destacan la farmacología, la química biológica, la bioinformática, la genómica y la metagenómica, la metabolómica, la robótica y el *blockchain*.

En el capítulo 3 se recoge un inventario de iniciativas relevantes en el sector académico, público y privado. Todas ellas demuestran el creciente interés y la adopción de nuevos enfoques e innovaciones tecnológicas en la bioprospección.

* Parte del Proyecto RG-T4005, Ciencia, tecnología e innovación para la protección de la Amazonía.

Por último, en el capítulo 4 se presentan dos propuestas para valorizar la biodiversidad. La primera es el desarrollo de cadenas de valor basadas en la biodiversidad, sustentadas en la puesta en valor de usos tradicionales de los recursos genéticos. La segunda es la creación de plataformas con acceso a la biodiversidad, centrada sobre todo en los sectores farmacéutico y agroquímico.

Esta publicación se cierra con una reflexión sobre cómo los modelos propuestos pueden coexistir y complementarse. Esto sugiere un futuro prometedor para la bioprospección que, aprovechando la biodiversidad de regiones como la Amazonía, puede conducir a la creación de productos innovadores y sostenibles, y a su vez, contribuir a proteger la biodiversidad.

Rafael Anta

Especialista Principal

División de Competitividad, Tecnología e Innovación IFD/CTI

Índice

Resumen ejecutivo	i
1. Introducción a la bioprospección	1
Bioprospección en América Latina: un desafío pendiente en el siglo XXI	2
2. Tecnologías de última generación y potencial para revolucionar la bioprospección	4
Tecnologías primarias	4
<i>Farmacología</i>	4
<i>Química biológica</i>	5
<i>Bioinformática</i>	6
Tecnologías secundarias	8
<i>Genómica y metagenómica</i>	8
<i>Metabolómica</i>	8
<i>Robótica</i>	9
<i>Tecnología de cadena de bloques o blockchain</i>	9
3. Innovaciones tecnológicas para promover y acelerar la bioprospección	10
Sector académico	10
Sector público	14
Sector privado	18
<i>Empresas que utilizan inteligencia artificial para el descubrimiento de fármacos</i>	21
4. Propuestas para la puesta en valor de la biodiversidad en América Latina	23
Cadenas de valor basadas en la biodiversidad	23
Plataformas de acceso a la biodiversidad	25
Recomendaciones para solucionar otros obstáculos	27
Conclusiones	29
Referencias	31



1. Introducción a la bioprospección

La **bioprospección** es la disciplina dedicada al estudio de la naturaleza orientado al hallazgo de organismos y sustancias con posibles usos para beneficio del ser humano, y que puedan tener un valor comercial significativo en sectores como el industrial, el alimentario, el cosmético y el farmacéutico, entre otros. Se trata de un proceso sistemático de búsqueda, clasificación e investigación de nuevos compuestos químicos, genes, proteínas, especies u otros productos con valor actual o potencial, que se encuentren en los organismos vivos que, en su conjunto, constituyen la biodiversidad. Es el primer eslabón de la cadena para el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad (Trigo *et al.*, 2013), uno de ejes de la bioeconomía.

Aunque “bioprospección” es un término de uso relativamente reciente, los seres humanos han recurrido desde sus albores a la biodiversidad para satisfacer sus necesidades. Desde la revolución cognitiva y tecnológica iniciada hace 70 000 años, los humanos han sido capaces de desarrollar nuevos alimentos, aislar medicamentos contra el cáncer a partir de organismos marinos y plantas, introducir genes en semillas para potenciar la resistencia a la sequía en los cultivos, identificar anticuerpos para protegerse de la COVID-19 en otros mamíferos, y están muy cerca de producir vacunas en tejidos vegetales. Todo ello se ha logrado con apenas el 1% de la biodiversidad del planeta. Y si se considera la biodiversidad de América Latina, con más de tres millones de especies solo en el bioma amazónico (Fondo Mundial para la Naturaleza), este porcentaje es aún más bajo. La naturaleza todavía constituye una gran fuente inexplorada de productos y servicios por descubrir que son de valor para la sociedad.

Bioprospección en América Latina: un desafío pendiente en el siglo XXI

A pesar de que la búsqueda sistemática de especies y estructuras químicas de interés económico generó un sinnúmero de productos en el siglo pasado, y que las tecnologías empleadas en el proceso han evolucionado en forma significativa en los últimos decenios (véase el capítulo 2), la bioprospección ha disminuido considerablemente en los últimos años por varias razones.

Por ejemplo, en el caso de la industria farmacéutica, la naturaleza siempre ha sido una fuente importante de nuevos medicamentos. Algunos de ellos se emplean en el tratamiento del cáncer (vincristina, vinblastina y paclitaxel) y de la malaria (artemisinina); otros son ampliamente usados en el trasplante de órganos (ciclosporina), y en el tratamiento de infecciones (penicilina) o de los síntomas de la enfermedad de Alzheimer (galantamina), solo por nombrar algunos.

Sin embargo, los diferentes avances tecnológicos, como el desarrollo de productos biológicos a partir de la biotecnología o el aumento de la capacidad de síntesis de compuestos de *novo* gracias a los avances de la química combinatoria, se han alzado como alternativas eficaces y competitivas para obtener nuevas entidades químicas de interés farmacéutico.

También existen algunos problemas intrínsecamente relacionados con la bioprospección que han socavado esta actividad. Entre ellos destaca la falta de experiencia de algunos países en materia regulatoria para la administración del acceso a recursos genéticos con fines comerciales. Asimismo, los costos de acceso a los recursos genéticos pueden resultar muy elevados si se trata de zonas remotas, y los grupos de I+D que trabajan en bioprospección son escasos, lo hacen en forma atomizada y, en muchas ocasiones, cuentan con infraestructuras científicas deficientes y carecen de acceso a las tecnologías de última generación.

En líneas generales, podría decirse que la bioprospección es un proceso que suele ser demasiado largo y de pronóstico incierto, y para tener unas mínimas garantías de éxito, requiere una masa crítica en términos de número de especies que se va a investigar. Todo ello exige repensar los mecanismos clásicos de investigación y desarrollo de productos derivados de la biodiversidad.

El acceso a los recursos genéticos es uno de los principales obstáculos que enfrenta la bioprospección, sobre todo teniendo en cuenta que el descubrimiento y desarrollo de nuevos productos a partir de la biodiversidad es un proceso que se lleva a cabo casi siempre en el contexto de colaboraciones internacionales. Este problema no

solo se manifiesta en la etapa inicial de la I+D, sino que, una vez superada esta, el escalado y la comercialización de los productos debe estar garantizado.

Por ejemplo, es fundamental asegurar el reaprovisionamiento y la trazabilidad de las materias primas, un proceso que además debe realizarse de forma sostenible, tanto desde el punto de vista ambiental como económico. En algunos casos, también es necesario tener en cuenta el reconocimiento del uso tradicional por parte de las poblaciones locales, todo lo cual generalmente involucra a la región geográfica de donde proviene el recurso.

2. Tecnologías de última generación y potencial para revolucionar la bioprospección

Tecnologías primarias

Por tratarse de una actividad multidisciplinaria, existen distintas tecnologías que desempeñan algún tipo de función en el proceso de bioprospección. No obstante, podría decirse que existen tres disciplinas que son esenciales y que trabajan de forma interconectada en la búsqueda de nuevas moléculas de interés farmacéutico o agroquímico en la naturaleza, a saber, la **farmacología**, la **química biológica** y la **bioinformática**.

Farmacología

En su forma más simple, la **farmacología** se define como la ciencia de la acción de los fármacos sobre los sistemas biológicos. Integralmente, la farmacología abarca el conocimiento de las fuentes, propiedades químicas, efectos biológicos y usos terapéuticos de los principios activos. Si bien no es una disciplina nueva por sí misma, se han realizado avances significativos en este campo en lo que va del siglo. Muchos de ellos tienen repercusiones en la bioprospección en general y en el descubrimiento de nuevos fármacos en particular.

En las etapas tempranas del proceso de investigación de moléculas bioactivas, son de gran importancia los ensayos *in vitro* e *in vivo*, que se llevan a cabo para descifrar, o al menos predecir, los efectos de los extractos, las fracciones o los compuestos puros obtenidos de la naturaleza. Mientras que los ensayos *in vitro* permiten realizar el análisis de muestras en sistemas celulares o enzimáticos, los ensayos *in vivo* lo hacen en organismos vivos. En conjunto, constituyen lo que se denomina ensayos preclínicos. Pero en los últimos dos decenios han comenzado a cobrar importancia nuevas metodologías de análisis, como los ensayos *in silico*, es decir, realizados mediante simulaciones computacionales (ver c. Bioinformática) y los ensayos *in cellulo*, una variante de las metodologías *in vitro* que concentra el ensayo en células o tejidos aislados.

A lo anterior se debe sumar la constante aparición de nuevos y mejores modelos de ensayos moleculares y dianas moleculares específicas que hacen cada vez más predictiva la metodología *in vitro*. Por ejemplo, se ha avanzado significativamente en el área de los ensayos antivirales (debido a la pandemia de COVID-19), así como en los ensayos dirigidos por objetivos (*target-based* en inglés), como el desarrollo de receptores acoplados a proteínas G (GPCR), receptores enzimáticos o transportadores.

Destacan también los ensayos de morfología celular con colorantes fluorescentes multiplexados (*cell painting*) y siguen siendo de importancia los ensayos fenotípicos clásicos de medición de la viabilidad celular y de citotoxicidad en células humanas, como en células tumorales, del sistema nervioso (enfermedades neurológicas y degenerativas) y en algunos modelos *in vitro* de enfermedades metabólicas, solo por mencionar algunos.

Los avances en las tecnologías de detección de actividad biológica *in vitro*, junto con la posibilidad de automatización de estos ensayos, permite la predicción temprana del potencial farmacológico de un número cada vez mayor de muestras en forma simultánea. Esto constituye una herramienta fundamental en los proyectos de bioprospección.

Química biológica

La **química biológica** es una ciencia experimental que combina la biología y la química para explicar los fenómenos biológicos a nivel molecular. Su estudio muestra el modo en que las moléculas que constituyen los organismos vivos interactúan para mantener y perpetuar la vida. Por ello, esta rama de la química se encarga del estudio de los denominados productos naturales, que desde el punto de vista químico se definen como ingredientes bioactivos de origen natural.

La química trabaja de la mano de la farmacología en la separación, purificación e identificación de principios activos obtenidos de organismos vivos. Mientras que los ensayos *in vitro* se encargan de detectar actividad biológica, los procesos químicos de purificación con solventes tienen como objetivo aislar las moléculas que confieren la actividad biológica a los extractos y fracciones semipurificadas. Este procedimiento se conoce con el nombre de fraccionamiento bioguiado.

Una vez que se han aislado los principios activos, es necesario realizar su identificación química. La química analítica tiene una función esencial en la identificación de estructuras, ya que se utiliza para separar y analizar los diferentes elementos químicos de un compuesto, analizar los patrones específicos obtenidos y medir las relaciones entre las cargas y las masas de los iones. Esto se consigue mediante técnicas de **espectroscopía**, que estudia la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante.

El análisis espectral, que tiene aplicaciones en la astronomía, la física, la química y la biología, entre otras disciplinas, se basa en detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética a ciertas longitudes de onda, es decir, que estudia la cantidad de luz que absorbe, despidе o dispersa un objeto. En química biológica se emplean diversos tipos de espectroscopía. En el caso de la identificación de principios activos de origen natural, destacan la espectrofotometría ultravioleta visible, la espectroscopía de masa y la resonancia magnética nuclear, que se utilizan sobre todo en la elucidación de estructuras moleculares.

Como ocurre en el caso de otras tecnologías, algunos de los avances de la espectroscopía podrían tener repercusiones futuras importantes, por ejemplo, en el análisis de metabolitos secundarios en plantas, hongos, organismos marinos u otros, aunque estos avances no sean disciplinas nuevas. Un caso interesante es la técnica de espectroscopía del infrarrojo cercano. Esta tecnología permite realizar perfiles químicos en muestras complejas como alimentos, extractos, cultivos o partes de organismos vivos, sin necesidad de realizar procesos complejos de extracción y purificación previa, es decir, de forma rápida y no invasiva. En combinación con la inteligencia artificial, la espectroscopía del infrarrojo cercano podría ser una poderosa herramienta para acompañar procesos de cribado o precibado de muestras de organismos poco conocidos (ver c. Bioinformática).

Bioinformática

La **bioinformática** puede definirse como la aplicación de tecnologías computacionales y de la estadística a la gestión y análisis de datos biológicos. Su objetivo consiste en investigar, desarrollar y aplicar herramientas informáticas y computacionales

que permitan el manejo de datos biológicos y lo mejoren, gracias al uso de herramientas que reúnan, almacenen, organicen y permitan interpretarlos.

La bioinformática es una de las disciplinas científicas con mayor protagonismo y proyección durante los últimos años. Esto se evidenció aún más durante la pandemia de la enfermedad por coronavirus (COVID-19), cuando hubo que manejar e interpretar datos sobre el virus causante de la pandemia. Se trata de una herramienta clave en los procesos de descubrimiento de fármacos en particular y de bioprospección en general. Entre otras posibilidades, permite almacenar información en bases de datos cada vez más complejas, analizar datos originados en ensayos farmacológicos y estudios químicos, examinar marcadores genómicos, asegurar la trazabilidad y hacer predicciones basadas en las características estructurales de las moléculas.

Uno de los principales avances de la bioinformática radica en la posibilidad de realizar lo que se denomina cribado virtual. Esta técnica computacional se emplea para descubrir fármacos en bibliotecas de moléculas con el fin de identificar las estructuras con más probabilidades de unirse a una diana farmacológica, normalmente un receptor de proteína o una enzima. Esta técnica también se denomina cribado in silico o cribado basado en dianas moleculares. La bioinformática también facilita la identificación de estructuras de moléculas complejas obtenidas por técnicas como la espectroscopía de masa (véase la subsección de Química biológica) a través de un proceso de comparación con bases de datos preexistentes denominado desreplicación.

Las técnicas de cribado virtual y de desreplicación han recibido un fuerte impulso con la aparición de la inteligencia artificial (IA), ya que esta permite el diseño de algoritmos predictivos del potencial de algunas moléculas y su efecto en el organismo humano y animal. Es decir, puede crear correlaciones entre estructuras químicas y efectos farmacológicos, acelerando un proceso que originalmente se realizaba de forma manual.

En combinación con la técnica de espectroscopía del infrarrojo cercano (véase la subsección de Química biológica), también es posible detectar compuestos específicos en mezclas biológicas complejas como partes de plantas, extractos, etc. No obstante, queda aún por determinar el rol que podría jugar la IA en la identificación de nuevos compuestos o estructuras químicas novedosas, ya que, en el caso de la técnica de espectroscopía del infrarrojo cercano, hasta el momento su uso parece estar limitado a la identificación de estructuras ya conocidas.

Tecnologías secundarias

Además de la **farmacología**, la **química biológica** y la **bioinformática**, existen otras disciplinas que se han desarrollado considerablemente en el transcurso del nuevo milenio. Y aunque el papel de muchas de ellas en la bioprospección en general y el descubrimiento de fármacos en particular todavía es secundario, es evidente que su importancia es creciente. Por tanto, es relevante mencionar las más destacadas: la **genómica** y la **metagenómica**, la **metabolómica**, la **robótica** y la **tecnología de cadena de bloques o blockchain**.

Genómica y metagenómica

La **genómica** es un campo de la biología, interdisciplinario por definición, que se enfoca en la estructura, la función, la evolución, el mapeo y la edición de genomas. La **metagenómica**, por su parte, se define como el estudio del material genético obtenido directamente de muestras ambientales. Podría decirse entonces que, mientras que la genómica se concentra en individuos o especies en particular, la metagenómica se centra en comunidades o ecosistemas.

Si bien la genómica cumple una función esencial en numerosas disciplinas relacionadas con la biotecnología y las ciencias de la vida, en la bioprospección no interviene directamente en el proceso de descubrimiento de nuevos productos. En este caso, su importancia es indirecta, ya que es fundamental en la identificación inequívoca y la trazabilidad de los recursos genéticos con los que se trabaja. Por otro lado, la metagenómica aun cumple una función aún más indeterminada, aunque podría ser importante, por ejemplo, en la trazabilidad de productos desarrollados a partir de simbioses.

Metabolómica

La **metabolómica** es el estudio del perfil de los metabolitos de una muestra biológica. De forma similar a la metagenómica, que estudia el genoma conjunto de comunidades de seres vivos presentes en una muestra, comunidad o ecosistema (véase la subsección Genómica y metagenómica), la metabolómica tiene como objetivo detectar, cuantificar y elucidar la estructura de los metabolitos de comunidades complejas de seres vivos, que se caracterizan por una gran diversidad fisicoquímica en sus estructuras moleculares. El conjunto de estas pequeñas moléculas se conoce como metaboloma. Se trata de una disciplina relativamente joven, pero se anticipa que, a través de la metabolómica, se podrían realizar perfiles metabólicos complejos, capaces de identificar productos naturales de potencial actividad biológica.

Robótica

La **robótica** es una disciplina que aglutina varias ramas de la ingeniería y la informática con el objetivo de diseñar y construir máquinas programadas para realizar tareas de forma automática o autónoma, incluso simulando el comportamiento humano, cuando se integra con IA. Por lo general, se asocia a la autonomía de decisión, algo que permite trabajar en entornos cambiantes.

La robótica y la automatización cumplen una función cada vez más importante en algunas etapas de la bioprospección. Por ejemplo, los procesos de precibado y cribado primario han experimentado un fuerte incremento de la automatización. Esto ha permitido un crecimiento exponencial de la posibilidad de disponer de información de forma mucho más rápida y eficiente gracias a la implementación de las denominadas plataformas de cribado rápido o plataformas *high throughput screening* o HTS (por sus siglas en inglés).

Tecnología de cadena de bloques o *blockchain*

El ***blockchain*** es una tecnología que permite organizar información digital en una base de datos descentralizada y en forma de "bloques" protegidos de la manipulación y modificación externas. Su uso se hizo evidente por primera vez en el contexto de las criptomonedas, pero también tiene aplicaciones en industrias distintas de las finanzas y la banca.

En el caso de actividades de bioprospección, el blockchain está evaluándose como herramienta de trazabilidad y verificación de la cadena de custodia de recursos genéticos durante el proceso de acceso y distribución de beneficios y del Protocolo de Nagoya. Por ejemplo, a través de contratos inteligentes, cada recurso genético podría contar con un *token* o huella digital que se "mueve" en paralelo con el activo, lo que permitirá rastrearlo desde el origen hasta el usuario final en forma segura, rápida, inmutable y económica.

3. Innovaciones tecnológicas para promover y acelerar la bioprospección

En este capítulo se presenta una amplia muestra de innovaciones recientes en el campo de la bioprospección que se están llevando a cabo en distintos lugares del mundo, tanto en el ámbito académico como en los sectores público y privado, junto con las tecnologías que se aplican en cada caso. Estas innovaciones confirman el creciente interés y la adopción de nuevos enfoques y soluciones tecnológicas en la disciplina de la bioprospección. La intención es que estas innovaciones puedan inspirar la reflexión en tomadores de decisiones que son responsables del aprovechamiento sostenible de la biodiversidad en su región o país.

Sector académico

The CAPS IT Research Infrastructure

Universidad de Lovaina, Bélgica

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

Se trata de una plataforma de cribado automatizado de análisis multiparamétrico (plataforma HTS, por sus siglas en inglés) para el estudio de patógenos de riesgo alto o desconocido. Cuenta con un nivel de contención (BSL, por sus siglas en inglés) de grado 3, lo que significa que permite trabajar con microorganismos de riesgo. Es un sistema genérico capaz de funcionar permanentemente, realizando todo tipo de manipulaciones esenciales, incluidas la preparación de placas, la incubación,

la toma de muestras y la recolección de datos. Se utiliza principalmente en el análisis de compuestos de origen sintético o natural para determinar sus efectos biológicos *in vitro* en virus, bacterias, hongos, o cualquier otro sistema celular (por lo general, en microorganismos patógenos para los seres humanos).

Si bien la plataforma se utiliza sobre todo para el estudio de compuestos puros, gracias a un ensayo piloto impulsado en el marco del [Proyecto Global Health, Biodiversity, and Therapeutics Innovation](#), de la Universidad de Harvard, se demostró que posee la capacidad de realizar el análisis de extractos crudos, en este caso obtenidos de organismos marinos y terrestres provenientes de centros de investigación de Argentina y Estados Unidos. El sistema es capaz de analizar miles de muestras en períodos relativamente cortos.

[Institut de Chimie des Substances Naturelles](#)

Département de Chimie des Substances Naturelles et Chimie Médicinale, Universidad de París, Saclay, Francia

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

El instituto se ocupa de varias líneas de investigación distribuidas en dos ejes transversales: moléculas de origen natural y nuevas moléculas terapéuticas. El primero incluye el aislamiento, la síntesis y el estudio de las propiedades de compuestos naturales de diversas fuentes (organismos marinos, plantas, microorganismos) de interés para la industria farmacéutica, cosmética y agroquímica. El segundo apunta al desarrollo de nuevas moléculas terapéuticas para aplicaciones diversas como antiparasitarios, antibacterianos, antifúngicos o anticancerígenos.

De particular interés resulta la [Biblioteca de extractos](#) propiedad de la institución, a la que también se conoce con el nombre de *Extractothèque* ICSN. Consiste en un banco de extractos preparados a partir de plantas superiores recolectadas en diferentes regiones de alta biodiversidad del mundo. Las plantas se recolectan, se identifican, se secan, se muelen y los compuestos se extraen en diferentes regiones del planeta. Después se envían al ICSN, donde se distribuyen en microplacas de pocillos múltiples para el análisis e identificación de candidatos, *hits* o muestras con actividad biológica.

Las muestras están disponibles para su estudio científico en la academia o de iniciativa privada. Además de los resultados obtenidos del cribado biológico, los candidatos o *hits* seleccionados se someten a estudios fitoquímicos dentro del ICSN o como parte de colaboraciones nacionales o asociaciones privadas. La colección cuenta con unos 14 000 extractos de 6500 plantas terrestres provenientes de unas

220 familias botánicas. Toda la información del banco se vuelca a una base de datos disponible en línea.

Por otro lado, y complementariamente al banco de extractos, el instituto posee una plataforma HTS para el descubrimiento de nuevos compuestos bioactivos, la [Plataforma CIBI](#), cuyo objetivo es identificar y caracterizar nuevos compuestos con potencial aplicación en el tratamiento de diferentes patologías, con particular énfasis en el cáncer. Para lograr el objetivo, se han desarrollado enfoques complementarios que permiten completar las diferentes etapas que van desde la identificación de moléculas activas, pasando por la validación *in vitro* e *in cellulo*, y hasta la evaluación *in vitro* de sus actividades. Las actividades de interés incluyen algunos mecanismos de acción antitumoral como la viabilidad celular, la angiogénesis, el ciclo celular y la apoptosis.

[NatureBank](#)

Griffith Institute for Drug Discovery de la Universidad Griffith, Australia

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica.

Se trata de un banco de extractos y fracciones provenientes de plantas, hongos e invertebrados marinos pertenecientes a la biodiversidad australiana. Las muestras se agrupan en dos bibliotecas. La primera de ellas está compuesta de 20 000 extractos y la segunda de 112 000 fracciones, todas ellas con disponibilidad inmediata para su análisis en plataformas HTS de cualquier tipo. El banco también cuenta con 30 000 muestras de biota.

El objetivo primordial de NatureBank es acelerar el descubrimiento de nuevas moléculas para el sector farmacéutico, veterinario y agroquímico, así como para desarrollar ingredientes y aditivos para la industria alimentaria, además de nutracéuticos, cosmeceúticos y otras aplicaciones industriales. Para tal fin, la biblioteca ha sido compartida con más de 30 universidades, institutos de investigación y empresas.

[Plataforma de Cribado de Fármacos y Farmacogenómica](#)

[INNOPHARMA](#)

Universidad de Santiago de Compostela, España

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

La plataforma de la “Unidad de Evaluación de Actividades Farmacológicas de

Compuestos Químicos" (USEF) se constituye a partir del Grupo de Investigación [BioFarma](#) de la Universidad de Santiago de Compostela. Incluye un servicio destinado a actores públicos y privados para el análisis amplio de perfiles farmacológicos mediante un cribado automatizado, miniaturizado y rápido (plataforma HTS), principalmente de estructuras químicas puras. La USEF ofrece un amplio espectro de [ensayos *in vitro* disponibles](#): ensayos con actividad frente a COVID-19, ensayos target-based (receptores acoplados a proteínas o GPCRs, receptores enzimáticos y transportadores) o ensayos fenotípicos (viabilidad y citotoxicidad en células humanas, estudios de la morfología por cell painting, enfermedades neurológicas, degenerativas y metabólicas), por mencionar solo algunos. No se especifica si la plataforma trabaja con extractos crudos.

[State Key Lab of Natural and Biomimetic Drugs](#)

Universidad de Beijing, China

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

Este laboratorio de la Universidad de Beijing ha establecido una unidad de investigación para el descubrimiento de nuevos fármacos que cuenta con una plataforma HTS, un banco de muestras, un banco de células, un sistema de información, un laboratorio de citología, una sala de biología molecular y un bioterio. Tiene la capacidad de implementar métodos y modelos de detección para diferentes tipos de medicamentos, incluidos fármacos antineoplásicos, antivirales, antibacterianos e inmunomoduladores, y otros para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares y la diabetes.

La plataforma HTS (*Catalyst Track System*) consiste en una estación de trabajo de automatización avanzada y modular, con capacidad de actualización y velocidad de procesamiento rápidas. Trabaja con más de 100 modelos celulares (incluidas células transgénicas), con una alta capacidad de medición simultánea. Es capaz de identificar compuestos novedosos y prometedores con potencial de desarrollo con derechos de propiedad intelectual independientes. La plataforma puede proporcionar servicios de tecnología de detección de fármacos a institutos de investigación y compañías farmacéuticas para la investigación y el desarrollo de nuevos fármacos. No se especifica si la plataforma trabaja con extractos crudos.

[Amazon Biobank](#)

Universidad de São Paulo y Universidad Federal de Rondonia, Brasil

Tecnologías: *blockchain*, genómica.

La iniciativa Amazon Biobank consiste en la construcción de un prototipo de una base de datos genética basada en tecnologías *blockchain* y red de pares (P2P), que trata de implementar incentivos monetarios para tomar, almacenar y validar muestras o secuencias de ADN de especies en comunidades regionales y locales. De esta manera, incentiva la colaboración en proyectos de I+D y, al mismo tiempo, preserva la biodiversidad de la región. Este enfoque colaborativo intenta explorar un modelo en el que la universidad, las industrias y otras instituciones utilicen científica y comercialmente la información sin que las comunidades locales resulten perjudicadas, mediante el uso de contratos inteligentes registrados en *blockchain* para facilitar su trazabilidad y auditoría.

Sector público

Instituto Pasteur en Corea (IPK)

República de Corea

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

El Instituto Pasteur en Corea es un organismo de investigación enfocado en enfermedades infecciosas. Dentro de sus numerosas actividades de I+D, destaca el funcionamiento de diversas plataformas robóticas dinámicas HTS para la detección de actividad biológica en bibliotecas químicas y colecciones de ARN de interferencia. Las plataformas completamente automatizadas están ubicadas en laboratorios con nivel de contención (BSL) de grado 2 y 3, es decir, debidamente adaptados para el trabajo con patógenos poco conocidos. Los candidatos o *hits* identificados a partir del cribado primario avanzan a una etapa de desarrollo, en primera instancia a través de una plataforma de química médica y luego en ensayos clínicos.

Fundación MEDINA

España

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

Es una institución líder en el descubrimiento de fármacos a partir de productos naturales de origen microbiano. Desarrolla programas de investigación en nuevos fármacos y biomarcadores en áreas terapéuticas estratégicas, tales como enfer-

medades infecciosas resistentes y parasitarias, oncología y neurodegeneración, y en la exploración del microbioma humano. La Fundación MEDINA colabora con la industria en la generación de productos de alto valor a través de programas de I+D no solo en el sector farmacéutico, sino también en el cosmético y en los relacionados con la agroalimentación y el desarrollo de bioinsecticidas.

Nota: En 2020, la Fundación MEDINA, la iniciativa Drugs for Neglected Diseases Initiative (DNDi) y el Instituto Pasteur en Corea obtuvieron un financiamiento de 995 000 euros del programa de CaixaResearch, Health Research 2020, para identificar nuevos fármacos derivados de productos naturales con potencial para tratar la leishmaniosis y la enfermedad de Chagas. El proyecto [Consortio Medina-DNDi-IPK](#) responde a este reto mediante la exploración de la amplia diversidad química de las librerías de productos naturales de la Fundación MEDINA en los ensayos de cribado fenotípicos de células enteras del Instituto Pasteur en Corea.

[Consortio EU-Openscreen](#)

Alemania y otros países

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

EU-OPENSREEN es un Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europea sin fines de lucro cuyo principal objetivo es la investigación en química biológica para el descubrimiento de fármacos innovadores en sus etapas más tempranas. El consorcio brinda apoyo en todas las etapas de desarrollo, incluida la adaptación de ensayos, el cribado de muestras en plataformas HTS, y el análisis químico de los candidatos o *hits* obtenidos en el proceso. Para ello, opera una base de datos de acceso abierto y una colección o biblioteca de compuestos denominada *European Chemical Biology Library*, que alberga unos 100 000 compuestos. EU-OPENSREEN está conformado por una red de más de 20 plataformas HTS distribuidas en 10 países europeos que brindan a los investigadores acceso a tecnologías de vanguardia para desarrollar sus propios productos. Aunque se centran principalmente en compuestos puros, algunas de las plataformas también pueden analizar extractos crudos. Además de realizar el cribado de compuestos, el consorcio ofrece servicios de química biológica y médica, acceso a la biblioteca de compuestos y bases de datos, fondeo de proyectos y capacitación de recursos humanos.

[NCI-60 Human Tumor Cell Lines Screen Panel, National Cancer Institute](#)

Estados Unidos

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

La plataforma se desarrolló a fines de la década de 1980 como herramienta de descubrimiento de fármacos *in vitro*, destinada a suplantar el uso de tumores animales trasplantables, una metodología tradicional en la detección de fármacos contra el cáncer. A partir de la década de 1990, el modelo de cribado descrito fue aceptado rápidamente por la comunidad científica, ya que ofrece una fuente importante de información sobre los principales mecanismos de inhibición del crecimiento y destrucción de células tumorales. Funciona como servicio de apoyo a la comunidad de investigación del cáncer. Si bien se concentra en el análisis de compuestos puros, también existen algunas experiencias en el cribado de extractos naturales (plantas, hongos, etc.). A diferencia de las plataformas descritas en el presente informe, NCI-60 ofrecería un rango más amplio de dianas, pero la cantidad de muestras analizable sería limitada.

International Barcode of Life Programme (IBOL)

Canadá y mundial

Tecnologías: bioinformática, genómica y metagenómica.

El IBOL es un programa internacional consistente en una alianza de investigadores de distintos países. Su objetivo principal es el inventariado de la biodiversidad mediante el establecimiento de bibliotecas de referencia de códigos de barras de ADN que representen y den identidad a los distintos organismos vivos multicelulares del planeta. El programa incluye la puesta en marcha de centros de secuenciación, de plataformas informáticas y la elaboración de protocolos analíticos. Consta de un programa principal (BARCODE 500K) y un segundo programa que se puso en marcha más recientemente (BIOSCAN), centrado en estudios de metagenómica. BARCODE 500K ya lleva codificadas 500 000 especies de 25 países y tiene como objetivo llegar a los 2,5 millones de especies para 2026.

Con sede central en Canadá, IBOL implementó una serie de nodos alrededor del mundo. Así, existen los nodos centrales, que se encargan de proveer el soporte informático necesario para compartir la información a través de una base de datos pública (Canadá, China, Estados Unidos y Unión Europea), los nodos regionales, que mantienen infraestructuras básicas para secuenciación (en América Latina se encuentran en Argentina, Brasil y México) y, por último, los nodos nacionales, que por lo general se encargan de la recolección, identificación y curación de especies pertenecientes a su propio país. En América existen nodos nacionales en Colombia, Costa Rica, Panamá y Perú. La base de datos asociada *Barcode of Life Data System*

es conocida como *BoldSystems* y consiste en una plataforma de análisis y almacenamiento de datos alojada en la nube. Se desarrolló en el Centro para la Genómica de la Biodiversidad de Canadá. Consta de cuatro módulos principales: un portal de datos, un portal educativo, un registro de BIN (especies putativas) y un banco de trabajo de recopilación y análisis de datos.

En el caso de la bioprospección, que pretende identificar principios activos de interés económico gracias al estudio de especies, el código de barras permitiría garantizar la identidad de las especies asociadas a las muestras analizadas, así como la trazabilidad de las mismas, a modo “un extracto – una especie”.

Proyecto piloto para uso de tecnología blockchain en ABS

UNDP-GEF Global ABS Project

Tecnologías: *blockchain*.

Se trata de un ensayo piloto realizado en 2021 por iniciativa del Proyecto UNDP-GEF Global ABS. El objetivo fue evaluar la factibilidad de implementar la tecnología *blockchain*, así como los contratos inteligentes asociados, en la mejora del acceso a los recursos genéticos y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización (ABS, por sus siglas en inglés). El proyecto fue diseñado con el apoyo de las oficinas regionales de Price Waterhouse Coopers en la India y en Turquía, y apuntó a mejorar la transparencia en la transferencia e intercambio de recursos genéticos, con el objetivo de facilitar el acceso a los mismos, así como la distribución de los beneficios derivados de su utilización con los países proveedores, regiones y comunidades locales, dos de los principales desafíos que enfrenta el Protocolo de Nagoya. Concretamente, el ensayo se concentró en el desarrollo de un modelo de trazabilidad e implementación de distribución de beneficios, así como en la identificación de los desafíos y oportunidades para futuros desarrollos.

Programa Nacional de Bioprospección

Argentina

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

Este programa se creó en 2022 bajo la órbita de la Dirección Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina.

El objetivo del programa es diseñar, consolidar y poner en marcha un **Banco Nacional de Extractos** que represente los principales grupos taxonómicos de la biodiversidad argentina y de sus diversos ecosistemas terrestres y marinos, y que presenten interés potencial desde el punto de vista de su metabolismo secundario. Se resalta que ello incluye principalmente plantas vasculares, hongos, microorganismos y algunos organismos marinos, todos ellos de importancia manifiesta para cualquier investigación inherente al descubrimiento de moléculas novedosas de interés en el ámbito de la salud, la alimentación, la cosmética o la química. Dicho banco de extractos estará a disposición de laboratorios públicos y privados, con especial énfasis en el análisis de las muestras en distintas plataformas HTS.

Para llevar adelante el programa se impulsará el diseño de la toma coordinada de las muestras biológicas de los organismos de interés en diferentes regiones de Argentina a través de una Red Federal de Nodos constituida por organismos de I+D distribuidos a lo largo del territorio nacional. También se busca implementar un protocolo de muestreo estandarizado y desarrollar una base de datos con un software de gestión y plataforma online asociados. Esto último a fin de que la información de las muestras del banco de extractos esté disponible para los potenciales usuarios. En este banco se incluiría el origen de las muestras, y cuando fuera relevante, información fitoquímica y farmacológica ya existente.

El Programa se implementará en dos etapas: la de incubación y la de escalado. La primera de ellas (2023-25) tiene por objetivo implementar un banco inicial con 1000 muestras y se llevará a cabo en el Instituto Patagónico del Mar de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. La segunda etapa se llevará a cabo sobre la base de los resultados obtenidos en la etapa de incubación y tratará de incrementar de forma sostenida la representatividad de la biodiversidad del país en el banco de extractos.

Sector privado

Bioprocol

Colombia

Bioprocol es una empresa colombiana dedicada al desarrollo de principios activos de origen natural orientados a la industria cosmética y validados científicamente. Su principal objetivo es agregar valor a la biodiversidad de ese país.

Bioprospera

Brasil

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica.

La empresa farmacéutica brasileña Aché puso en marcha en 2017 la plataforma Bioprospera, cuyo principal objetivo es descubrir y desarrollar medicamentos innovadores a partir de fuentes naturales, en especial provenientes de la biodiversidad brasileña. La plataforma utiliza dos enfoques para el descubrimiento de moléculas y extractos naturales activos: 1) un enfoque etnofarmacológico, con el fin de descubrir plantas medicinales cuyos extractos presenten efectos farmacológicos y toxicológicos validados, y 2) un enfoque de bioprospección en sentido amplio, basado en la recolección y el estudio de muestras provenientes de diferentes biomas, utilizando un enfoque abierto.

El proyecto, denominado *Molecular Power House*, se basa en la utilización de la plataforma Bioprospera y se lleva a cabo en colaboración con la empresa brasileña [Phytobios](#) y con el [Laboratório Nacional de Biociencias \(LN BIO\)](#) del [Centro Nacional de Investigaciones en Energía y Materiales \(CNPEM\)](#), que utiliza en programa [Sirius 4](#) para la desreplicación y caracterización de moléculas bioactivas en los extractos más prometedores, una herramienta fundamental para el descubrimiento de fármacos.

De esta colaboración surge un consorcio público-privado que pone el foco en un total de 11 bioensayos en las áreas de oncología, infectología, enfermedades cardiovasculares y metabólicas, y dolor e inflamación. Las actividades se concentran en las etapas iniciales de la cadena de valor, que van del cribado inicial de librerías de compuestos puros o extractos, hasta la identificación y purificación de *leads* y su escalado (de mg a g) para su posterior uso en ensayos preclínicos. Actualmente cuenta con una biblioteca de 6000 extractos provenientes de distintos ecosistemas del territorio brasileño.

Boc Sciences

Estados Unidos

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica, robótica.

Esta plataforma de descubrimiento de fármacos ofrece, entre otros servicios, la posibilidad de utilizar la plataforma HTS para el análisis de muestras en ensayos biofísicos, celulares, moleculares y bioquímicos. La empresa hace referencia al

estudio de compuestos puros (sintéticos y naturales) y no especifica si trabaja con extractos crudos.

Brightseed

Estados Unidos

Tecnologías: bioinformática, química biológica, metabolómica, robótica.

Brightside es una empresa estadounidense que cuenta con una plataforma de IA (Forager®) con capacidad de explorar y analizar organismos vivos (principalmente, plantas terrestres) a nivel molecular, y correlacionar los resultados obtenidos con sus potenciales efectos en la salud humana. A través del sitio web ofrece su contacto y la posibilidad de realizar colaboraciones.

Enveda Biosciences

Estados Unidos

Tecnologías: bioinformática, química biológica, metabolómica, robótica.

Enveda Biosciences es una empresa estadounidense que utiliza una plataforma integrada de aprendizaje automático (*machine learning*), metabolómica y robótica para descubrir nuevos fármacos en la naturaleza. La plataforma permite el descubrimiento de moléculas en forma masiva, lo que constituye una ventaja competitiva sobre el método tradicional de aislamiento y estudio de moléculas de forma individual. En el sitio web ofrecen su contacto y la posibilidad de realizar colaboraciones.

Next Innovative Therapeutics (Nintx)

Brasil

Nintx es una empresa brasileña fundada en 2021 con la misión de estudiar interacciones biológicas complejas como las que ocurren entre plantas y microorganismos, y en base a ello desarrollar nuevas terapias. Algunas de las tecnologías propietarias de la empresa incluyen una plataforma de simulación del microbioma en el sistema digestivo gastrointestinal humano y una solución de IA para mapear y seleccionar plantas medicinales con capacidad de modular actividades específicas del microbioma.

Pharmamar

España

Tecnologías: bioinformática, farmacología, química biológica.

Esta empresa integra verticalmente la investigación y el desarrollo de medicamentos antineoplásicos a partir de moléculas de origen natural aisladas de organismos marinos. La investigación básica que realiza incluye expediciones marinas, aislamiento de compuestos, síntesis química y estudios *in vitro* e *in vivo*. En el caso de identificar moléculas prometedoras, la empresa también se involucra en el desarrollo de terapias y en llevar a cabo los ensayos clínicos correspondientes. Actualmente ha comercializado al menos tres productos. La empresa cuenta con una biblioteca de organismos marinos compuesta por más de 250 000 muestras y se especializa en cáncer de ovario, sarcoma, mieloma múltiple y cáncer de pulmón microcítico.

Empresas que utilizan inteligencia artificial para el descubrimiento de fármacos

Anteriormente se ha destacado la importancia que está adquiriendo la IA en el proceso de descubrimiento de fármacos. A continuación, se presenta un listado de empresas, todas ellas en Estados Unidos, que, aunque no están trabajando en bioprospección, están desarrollando métodos para acelerar el proceso de desarrollo de fármacos utilizando la IA, que eventualmente podrían ser de interés en el análisis de la biodiversidad:

AI-Multiple: brinda soluciones tecnológicas basadas en tecnologías de IA en diversas áreas, incluida la salud humana.

Atomwise: desarrolla una plataforma de descubrimiento de fármacos basada en IA que identifica y desarrolla nuevas terapias en base a moléculas sintéticas pequeñas.

Benevolent Platform: dispone de una plataforma de I+D computacional que captura la interconectividad de todos los datos relevantes disponibles y la literatura científica.

BERG: empresa de biotecnología en etapa clínica que adopta un enfoque denominado Back to Biology® para la atención médica, basada en IA.

BioXcel Therapeutics: utiliza IA para reducir el tiempo del descubrimiento de fármacos. Se enfoca principalmente en las enfermedades neurológicas y en la inmunología.

Cloud Pharmaceuticals: utiliza IA para el descubrimiento de fármacos.

Insilico Medicine: dispone de una plataforma para el descubrimiento y desarrollo de fármacos basada en una metodología de evolución rápida.

Numedii: utiliza tecnología propietaria de IA para el descubrimiento de fármacos sintéticos para el reposicionamiento de fármacos.

Recursion: integra innovaciones tecnológicas en biología, química, automatización, aprendizaje automático e ingeniería para industrializar el descubrimiento de fármacos.

Vergegenomics: trabaja con genómica humana, aprendizaje automático, ingeniería biológica y medicina traslacional para el descubrimiento de fármacos.

4. Propuestas para la puesta en valor de la biodiversidad en América Latina

Según el contexto descrito, en los últimos años han comenzado a explorarse algunas propuestas alternativas y novedosas de bioprospección y puesta en valor de la biodiversidad que centran sus esfuerzos en resolver los principales obstáculos planteados en el capítulo 1. A continuación, se describen dos propuestas que podrían repercutir positivamente en este sentido.

Cadenas de valor basadas en la biodiversidad

Esta propuesta pretende identificar e impulsar potenciales cadenas de valor para el desarrollo y la comercialización de productos innovadores y novedosos que, en muchas ocasiones, corresponden a mercados de nicho, como el mercado de los alimentos funcionales, de los suplementos dietéticos, los fitoterapéuticos y los fitocosméticos. El modelo busca el agregado de valor en los centros o países de origen de los recursos genéticos, incluidas las certificaciones internacionales como “producto orgánico”, “de conformidad con el Protocolo de Nagoya” o “denominación de origen”, entre otras.

La propuesta también contempla la validación científica de algunas de las propiedades del producto terminado, como los efectos beneficiosos sobre la salud de algunos alimentos funcionales, fitoterapéuticos o productos cosméticos. El agregado de valor también puede darse en el procesamiento de las materias primas, como en el camino que va de la biomasa al extracto o de la materia prima al producto terminado.

El objetivo final del modelo es la creación de carteras de productos innovadores con identidad geográfica y cultural, atributos que en muchas ocasiones vienen dados por el hecho de que el recurso genético es autóctono de la región. En este sentido, es necesario un esfuerzo para lograr la vinculación de los distintos actores con posibles inversionistas y proveedores de valor agregado a través de acuerdos de transferencia de tecnología.

Un ejemplo de este modelo de bioprospección y puesta en valor de la biodiversidad lo constituye el proyecto *ABS Biotrade: Biodiversity-Based Value Chains*, impulsado por la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional. La iniciativa pretende reforzar los marcos regulatorios para la implementación del Protocolo de Nagoya, la identificación y el desarrollo de productos derivados de la biodiversidad y la innovación para impulsar el biocomercio de productos originarios de África del Sur con Europa.

En 2019, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina impulsó un estudio de factibilidad con el objetivo de identificar potenciales cadenas de valor con las características anteriores que pudieran llegar a los mercados internacionales.

Más recientemente, y a través de una colaboración entre el Banco Interamericano de Desarrollo y la Universidad San Francisco de Quito (Ecuador), se lanzó *Transformar.bio*, una plataforma de colaboración masiva (*crowdsourcing*) para América Latina y el Caribe, cuyo principal objetivo es actuar como una red colaborativa de información sobre oportunidades para la transformación de la biomasa en productos de alto valor agregado.

El modelo de desarrollo puede impulsarse a través de la implementación de las denominadas organizaciones catalizadoras (*backbone organizations*), que consisten en organizaciones capaces de alinear a actores diversos en un esfuerzo sincronizado para lograr un objetivo común.

A modo de ejemplo, algunas cadenas de valor que responden al modelo descrito y que se han desarrollado con éxito en algunas partes del mundo incluyen productos apícolas derivados de la flora del Gran Chaco y su validación como alimentos funcionales; la genipina como colorante a partir de poblaciones de *huito* en la Amazonía peruana; una línea fitocosmética para el cuidado capilar a partir de jarilla del desierto argentino; y derivados del fruto de la marula de Sudáfrica, registrado en Europa como alimento tradicional y novedoso (*Traditional Food*, TF; *Full Novel Food*, FNF).

La propuesta de cadenas de valor basadas en la biodiversidad tiene particular impacto en los sectores de la alimentación (nuevos productos, alimentos funcionales, colorantes, etc.), la cosmética (extractos e ingredientes activos), la vestimenta (materiales, tintes, etc.) y la salud (suplementos dietarios, fitoterápicos).

Plataformas de acceso a la biodiversidad

Uno de los principales campos de la bioprospección es la búsqueda de ingredientes bioactivos. Se trata de compuestos químicos que proporcionan un efecto biológico directo en el diagnóstico, cura, mitigación, tratamiento o prevención de enfermedades, o que afectan a la estructura o a cualquier función del cuerpo en humanos, animales e incluso plantas.

Ya se ha mencionado la importancia de la biodiversidad en el descubrimiento de este tipo de compuestos, en particular para la industria farmacéutica. Por ejemplo, en el área oncológica, se estima que el 65% de los productos utilizados son de origen natural, derivatizaciones o bien compuestos sintéticos diseñados con base en estructuras naturales (Newman y Cragg, 2020).

Algunas estimaciones indican que a principios de siglo ya existían al menos 47 fármacos provenientes de especies de bosques tropicales, con un valor acumulado estimado en 147 000 millones de dólares (McFarland, 2017). Los productos naturales, definidos desde el punto de vista químico como ingredientes bioactivos de origen natural, también tienen una función importante en otras áreas de la salud, así como en la industria agroquímica (biopesticidas), la cosmética y la de alimentos (antioxidantes y colorantes, entre otros).

Pero cuando se trata de la búsqueda de principios activos en la biodiversidad, a las dificultades de acceso a los recursos genéticos, ya mencionadas, hay que sumar otro factor, que consiste en la aparición en escena de plataformas automatizadas capaces de analizar bioactividad *in vitro* de miles de muestras en poco tiempo, o plataformas HTS.

Esta tecnología se está multiplicando en todo el mundo y presenta una oportunidad única para acelerar la búsqueda de nuevas moléculas bioactivas en la biodiversidad. Pero para que esto suceda, es necesario disponer de cientos, o incluso de miles de muestras que analizar, algo que por el momento es inviable cuando se trata de estudiar regiones de alta biodiversidad como América Latina.

Por ello, en la actualidad, la búsqueda se concentra sobre todo en el análisis de bibliotecas de estructuras químicas provenientes de la síntesis combinatoria,

de más fácil acceso. De hecho, las investigaciones farmacológicas y químicas de la biodiversidad en América se siguen realizando en forma aislada y atomizada, lo que hace poco probable que los investigadores individuales puedan acceder a dicha tecnología.

Ante esta situación, la propuesta consiste en establecer bancos o bibliotecas de extractos que representen la biodiversidad de una región o país (por ejemplo, plantas, hongos, organismos marinos, microorganismos y otros grupos taxonómicos relevantes desde el punto de vista químico) y que actúen como plataformas de acceso a la biodiversidad. Ello permitiría ofrecer un gran número de muestras (masa crítica) al servicio de las plataformas HTS, tanto en el ámbito público como en el académico y el privado.

Además de resolver el problema de la masa crítica de muestras, esta propuesta podría salvar otros obstáculos relacionados con el acceso a la biodiversidad, que se detallan al principio de esta sección, y que incluyen:

- **Infraestructura:** el acceso a los recursos genéticos se considera complejo a veces debido a las dificultades geográficas, las distancias y la falta de infraestructura. El establecimiento de bancos de extractos reduce este problema significativamente, ya que las muestras están disponibles de antemano.
- **Riesgos:** los riesgos técnicos y económicos se comparten con el lado de la oferta, es decir, con el país proveedor, ya que este se responsabiliza directamente de la recolección de material, el reabastecimiento, la elaboración de extractos o fracciones, la preparación de placas, y en algunos casos, también del análisis químico y la purificación de los activos. De este modo, la sistematización, la trazabilidad, la garantía de reabastecimiento y la agilidad en la entrega de las muestras se convierte en un valor agregado de parte del país proveedor.
- **Marco regulatorio:** con el establecimiento de los bancos de extractos, los permisos de recolección y el cumplimiento de las normativas locales de acceso y distribución de beneficios (ABS, por sus siglas en inglés), así como la implementación de certificaciones relacionadas con el Protocolo de Nagoya, quedan en manos del país o región donde se encuentra el recurso genético. Ello implica que las instituciones responsables deben estar preparadas para gestionar los permisos correspondientes para recolectar un gran número de muestras, negociar acuerdos de ABS y de transferencia de material.

En líneas generales, la implementación de este tipo de plataformas podría tener un impacto positivo en el proceso de descubrimiento de fármacos a escala global, ya que incrementaría exponencialmente la posibilidad de análisis de la biodiversidad en las etapas tempranas del proceso (cribado y precribado). No solo resuelven la disponibilidad de masa crítica de muestras, sino que además se ocupan de salvar algunos problemas, como los permisos y la trazabilidad, resolviendo de forma integral el problema del acceso a los recursos genéticos. De este modo, se acortan los procesos de desarrollo y se absorbe parte de los riesgos tecnológicos y económicos en el país o región de origen, todo lo cual redundaría en un incremento en el valor agregado.

Las plataformas de acceso a la biodiversidad podrían tener un impacto significativo principalmente en las áreas de salud y agroquímicos (ingredientes activos), aunque también podrían acelerar el desarrollo en algunos otros sectores como en la industria de los alimentos (antioxidantes, colorantes, etc.) y la industria cosmética (ingredientes activos), entre otros.

En la actualidad existen al menos tres antecedentes que tratan de implementar el modelo de bioprospección descrito. En la Universidad de París se implementó una [biblioteca de extractos](#) que busca representar la biodiversidad de diversas partes del mundo. En Australia, la Universidad Griffith implementó el [NatureBank](#), un banco de extractos y fracciones provenientes de plantas, hongos e invertebrados marinos de la biodiversidad australiana. Más recientemente, en 2022, en Argentina se creó un [Programa Nacional de Bioprospección](#), cuyo principal objetivo es implementar un [banco nacional de extractos](#) que represente los principales ecosistemas del país (véase el capítulo 3: Innovaciones tecnológicas recientes para promover y acelerar la bioprospección).

Recomendaciones para solucionar otros obstáculos

A las dos propuestas planteadas anteriormente se añaden tres recomendaciones complementarias que se consideran esenciales para el desarrollo de la bioprospección, dirigidas a salvar los obstáculos identificados en el capítulo 1:

- **Actualización de los marcos regulatorios:** es necesario que varios países modernicen sus marcos regulatorios para lograr una gestión más dinámica y efectiva del acceso a recursos genéticos con fines comerciales. Como referencia, Brasil quizás sea el país del bioma amazónico con un marco regulatorio más moderno en lo relativo al acceso a recursos genéticos.

- **Fortalecimiento institucional:** la anterior actualización deberá ir acompañada del fortalecimiento institucional para la adopción de cambios regulatorios en las agencias responsables del acceso a los recursos genéticos.
- **Mayor dotación de recursos para la investigación científica:** la bioprospección es una actividad que requiere presupuesto suficiente para financiar equipos multidisciplinares de investigadores y para adquirir y mantener infraestructuras tecnológicas para la investigación. Se estima que el presupuesto destinado a bioprospección en muchos de los países de América Latina es insuficiente para investigar la biodiversidad. Una mayor dotación de presupuesto ayudaría a aumentar la capacidad de descubrimiento de organismos y sustancias para beneficio de la sociedad.

Conclusiones

Es evidente que las dos propuestas recogidas son intrínsecamente diferentes y que cada uno de los casos presenta ventajas y desventajas. A continuación, se presenta un breve resumen de las fortalezas y debilidades de cada uno.

En el caso del desarrollo de **cadenas de valor** basadas en productos derivados de la biodiversidad, podría decirse que el proceso de bioprospección es relativamente sencillo ya que muchas veces se basa en la puesta en valor de usos tradicionales de los recursos genéticos. Y si bien la validación científica sin duda puede agregar valor, no siempre es una condición necesaria para llegar al mercado. Es por ello que, trabajar en el agregado de valor *in situ*, incorporar características o procesos sujetos a mecanismos de protección intelectual, implementar la circularidad, obtener certificaciones internacionales e incorporar tecnologías novedosas constituyen acciones que, sin duda, contribuyen a incrementar la calidad de las mismas.

Los tiempos de desarrollo y escalado pueden ser relativamente cortos, los riesgos tecnológicos y económicos son cuantificables mediante metodologías tradicionales, y el espectro de los mercados es amplio (aunque en ocasiones difícil de cuantificar). Podría decirse además que la identificación de las comunidades locales involucradas es relativamente sencilla, lo que facilita unos mecanismos de reparto justo y equitativo de los beneficios.

Como desventaja, esta propuesta tiene bajo potencial de generar innovaciones disruptivas y sujetas a los mecanismos de protección a través de la propiedad intelectual (por ejemplo, patentes), y por ende, el impacto global podría ser limitado. Por tratarse de un modelo vertical (la intervención ocurre a lo largo de toda la cadena de valor), las inversiones pueden resultar elevadas, y algunas áreas de gran potencial desde el punto de vista químico, como el descubrimiento de fármacos, podrían quedar relegadas.

El modelo de **plataformas de acceso a la biodiversidad** apunta principalmente al sector farmacéutico y al agroquímico, dos sectores claramente definidos y de gran importancia económica. Al contrario de lo que ocurre con las cadenas de valor, permite apuntar a innovaciones más disruptivas y de impacto global, con potencial de protección de la propiedad intelectual, concretamente en el área del descubrimiento de fármacos. Otra ventaja del modelo es que, a diferencia de las cadenas de valor, se concentra solo en los eslabones iniciales de la cadena, es decir, que se trata de un modelo de intervención horizontal, y por ende, las inversiones pueden resultar menores.

Como desventajas, cabe mencionar los tiempos de desarrollo, que son mucho más largos, además de los riesgos tecnológicos y financieros, que evidentemente son mayores. Se estima que la industria farmacéutica, que invierte 50 000 millones de dólares al año en I+D, solo destina unos 100 millones de dólares a bioprospección. Algunos modelos teóricos intentan valorizar el retorno a un proyecto de bioprospección en áreas tropicales. Por ejemplo, según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), una hectárea de bosque tropical puede tener un valor que oscila entre los 21 y los 9177 dólares. Es interesante destacar que el PNUD estima que el valor actual neto de un extracto que ingresa a un programa de cribado es de 487 dólares. Dicho retorno puede estructurarse en base a un porcentaje de pago por adelantado asociado a una regalía a futuro (McFarland, 2017).

Gracias a la naturaleza particular de cada una de las propuestas descritas, podría decirse que ambas se complementan y pueden coexistir perfectamente, dentro de un modelo de desarrollo económico basado en la bioprospección y puesta en valor de la biodiversidad.



Referencias

Fondo Mundial para la Naturaleza. Living Amazon Report 2022.

McFarland, B. J. 2017. Bioprospecting. En: B. J. McFarland. Conservation of Tropical Rainforests. Springer International Publishing; pp. 527-550. Disponible en <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-63236-0>.

Newman D. y G. Cragg. 2020. Natural Products as Sources of New Drugs over the Near Four Decades from 01/1981 to 09/2019. Journal of Natural Products, 83, 770-803. Disponible en <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285>.

The Swiftest. 2022. Global Biodiversity Index. Disponible en <https://theswiftest.com/biodiversity-index/>.

Trigo E., G. Henry, J. Sanders, U. Schurr, I. Ingelbrecht, C. Revel, C. Santana y P. Rocha. 2013. Towards bioeconomy development in Latin America and the Caribbean. Bioeconomy Working Paper n.o 2013-01. ALCUE KBBE FP7 Project No. 264266, 15 p. Disponible en https://agritrop.cirad.fr/567934/1/document_567934.pdf.

