

A close-up photograph of a microscope's objective lenses. The lenses are silver and black, with some having colored rings (blue, yellow, red). The background is blurred, showing the rest of the microscope. Overlaid on the image are several decorative dotted lines that form a path across the frame.

UN ACERCAMIENTO A LA FILOSOFÍA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Flores Barbosa Johanán, Ramírez López Carolina
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN, Tlaxcala.
jfloresb2102@alumno.ipn.mx, caramirezl@ipn.mx

RESUMEN

La filosofía de la Biotecnología es una disciplina con frecuencia olvidada en la investigación científica realizada en México, sin embargo, es de suma importancia ya que nos ayuda a entender el propósito del estudio o investigación llevada a cabo. Aunque históricamente, la Biotecnología lleva miles de años entre la humanidad, creemos que únicamente se trata de técnicas de biología molecular o ingeniería genética, pero la Biotecnología es más que eso e involucra una gran cantidad de ciencias y ramas que la enriquecen su complejidad por lo tanto ¿es a Biotecnología la rama de una ciencia o una ciencia en sí?, ¿existe una filosofía de la Biotecnología, tal como una filosofía de la ciencia?, ¿es la Biotecnología multidisciplinaria, transdisciplinaria o interdisciplinaria? Para responder a estas preguntas no podemos olvidar el hecho de que la Biotecnología tiene un fin, no solo es la generación de conocimiento aunque tampoco es la búsqueda de un beneficio estrictamente económico, la Biotecnología ha sido desarrollada para idear y ofrecer soluciones, estrategias y recursos que permitan la mitigación o incluso la resolución de problemática a nivel social y económico en donde la aplicación de la Biotecnología puede representar una alternativa más eficiente, económica y con un impacto menor que otras estrategias más tradicionales.

Palabras clave: Filosofía de la Biotecnología, ciencia, investigación, filosofía de la ciencia

ABSTRACT

The philosophy of Biotechnology is a discipline often forgotten in scientific research enhanced in Mexico, however, it is of paramount importance since it helps us understand the purpose of the study or research carried out. Although, historically, biotechnology has been among mankind for thousands of years, we believe that it is only about molecular biology techniques or genetic engineering, nevertheless biotechnology is more than that and involves a lot of sciences and branches that enrich its complexity, so is Biotechnology the branch of a science or a science in itself? is Biotechnology multidisciplinary, transdisciplinary or interdisciplinary? To answer these questions we cannot forget the fact that biotechnology has a purpose, it is not only the generation of knowledge but also not the search for a strictly economic benefit, Biotechnology has been developed to devise and offer solutions, strategies and resources that allow the mitigation or even the resolution of problems at the social and economic level where the application of Biotechnology can represent a more efficient alternative, economic and with a lower impact than other more traditional strategies.

Key words: philosophy of Biotechnology, science, research, philosophy of science

I. INTRODUCCIÓN

La Biotecnología lleva miles de años con nosotros, sin embargo, nos dimos cuenta de ella y solo le dimos nombre hasta la segunda década del siglo XX (Fári & Kralovánszky, 2006). Antes de ello, nuestros antepasados cazaban, recolectaban semillas y poco a poco cambiaron sus hábitos nómadas por hábitos sedentarios cuando se dieron cuenta que, mediante la siembra de semillas, la tierra podría darles el alimento necesario sin necesidad de recorrer grandes distancias y de ese modo comenzó la agricultura, posteriormente, la producción de alimentos como pan y bebidas fermentadas, hoy en día, somos capaces de modificar genéticamente esas semillas para obtener mayores rendimientos de cosecha y en general, mejor calidad de estos, así como elaborar antibióticos y otros fármacos que favorecen la salud humana (Renneberg, 2019).

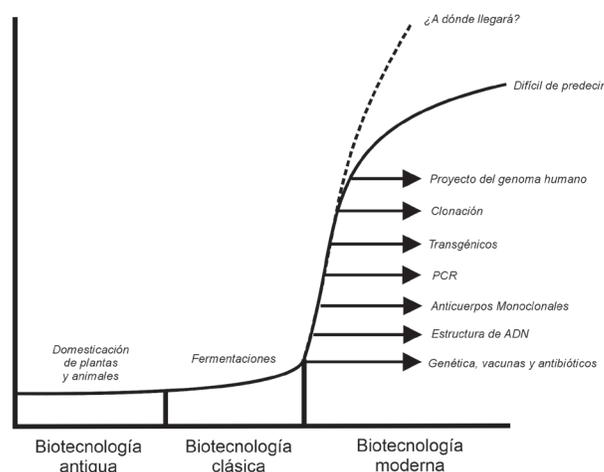


Figura 1. Desarrollo histórico de la biotecnología. Algunos de los descubrimientos más importantes de la biotecnología, con una posibilidad para su crecimiento ilimitado en el futuro.

Todo esto gracias a hombres y mujeres que dedicaron su vida al estudio de la Biotecnología, como afirma van den Belt, (2009), la Biotecnología puede ser “la onda del siglo XXI”, sin embargo, el siglo veintiuno nos ha enseñado algo, los desarrollos científicos y tecnológicos están cargados de consecuencias sociales y dilemas éticos (Krimsky, 2006): clonación, modificación genética, ensayos con embriones y otras prácticas que deben tener en cuenta una parte ética.

En 1979, después del desarrollo de la tecnología de ADN recombinante, la Comisión Europea presentó un documento en referencia a la Biotecnología con la siguiente descripción (van den Belt, 2009):

“El procesamiento de materiales mediante microorganismos y otros agentes biológicos para proveer productos o servicios. Incorpora fermentación y tecnología enzimática, tratamiento de agua, residuos y algunos aspectos de tecnología de alimentos. Su objetivo y potencial son enormes [...] y con el advenimiento de técnicas de ingeniería genética, la modificación de dichos microorganismos puede ser

agregada a la lista. El procesamiento industrial tampoco debe excluir la aplicación de la ciencia biológica a la agricultura y otros campos no industriales.

Aunque no sería la última, pues a lo largo de la historia, la definición de Biotecnología ha ido cambiando y ajustándose de acuerdo con la época y los avances tecnológicos, además de que ya comenzaba a entrecruzarse esta riqueza de la cuál la Biotecnología es caracterizada.

Ahora bien, ¿cuáles son las implicaciones filosóficas e históricas de tantos avances tecnológicos y científicos en esta disciplina? ¿Existe una Filosofía de la Biotecnología, tal como una Filosofía de la Ciencia? y finalmente, ¿es la Biotecnología multidisciplinaria, transdisciplinaria o interdisciplinaria? Este texto no es un análisis exhaustivo sobre la filosofía de la Biotecnología, sino tiene por propósito hacer manifiesta la concepción de que “la Filosofía aporta claridad conceptual y rigor lógico a la teorización científica mientras que la ciencia arraiga la reflexión filosófica en la evidencia empírica obtenida mediante la meticulosa observación y experimentación” (Bedau y Mariano, 2016) y de paso, remarcar la importancia del estudio de la estructura de esta disciplina que en ocasiones puede ser omitido, aunque no con intención (Verma et al. 2011).

Para comenzar, intentaremos definir qué es la ciencia, así como qué es la filosofía de la ciencia y por qué es tan importante. Aunque explicar la ciencia como concepto y desvelar a detalle su naturaleza es complejo y conlleva un arduo trabajo, en un principio podría decirse que la ciencia busca explicar y predecir el mundo en que vivimos, sin embargo, ¿es la ciencia el único camino que nos puede ofrecer tal explicación a la naturaleza? La ciencia se vale de una serie de metodologías, observaciones y experimentos que llevan a un análisis detallado de los hechos, lo cual forma parte de una evidencia empírica y estadística que, a su vez, converge en conclusiones y la posterior formulación de teorías (también llamado método científico) (Okasha, 2016). Según Tamayo (2018) la ciencia es una “[...] actividad humana creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el conocimiento, obtenido por medio de un método científico organizado en forma deductiva y que aspira a alcanzar el mayor consenso entre los sujetos técnicamente capacitados.”, de tal modo que podemos señalar que la ciencia es saber entre saberes, un camino confiable hacia el entendimiento de la realidad (Okasha, 2016).

Por otra parte, sobre simplificando el concepto de filosofía de la ciencia, se refiere a la reflexión de la ciencia y sus resultados (Encyclopaedia Herder, 2022).

En palabras de Shurz (2013):

“La filosofía (o teoría) de la ciencia investiga cómo funciona o trabaja el conocimiento científico, sus objetivos y métodos, sus logros, aciertos y limitaciones”.

Se debe hacer una distinción entre la filosofía general de la

ciencia y la filosofía de las ciencias en particular. La filosofía general de la ciencia descubre aquellos componentes del conocimiento que son similares en todas las disciplinas científicas, mientras que la filosofía de las ciencias trata sobre aspectos específicos de disciplinas como la filosofía de la física, biología, psicología, las ciencias sociales o humanidades (Shurz, 2013).

1.1 ETAPAS HISTÓRICAS DEL PARADIGMA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Desde un punto de vista histórico y filosófico, se pueden distinguir tres etapas principales en el desarrollo de la Biotecnología o cambios en el paradigma de la Biotecnología: Biotecnología antigua, Biotecnología clásica y Biotecnología moderna. Kuhn y Solís (2022) utilizaron el término paradigma bajo la definición de “sistema de creencias, principios, valores y premisas que definen la visión que una determinada comunidad científica tiene de la realidad, el tipo de preguntas y problemas que es legítimo estudiar, así como los métodos y técnicas válidos para la búsqueda de respuestas y soluciones”. En consecuencia, el enfoque o paradigma en que se inscribe un estudio sustenta el método, propósito y objetivos de la investigación (González, 2005). El paradigma de la Biotecnología antigua, tienen su origen en las civilizaciones prehistóricas, entre 5000 y 10,000 a. C. Cuando la civilización egipcia, sumeria, india y china comenzaron a domesticar y seleccionar animales y plantas que presentaban ciertas características como mejor sabor, mayor rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades; por otra parte, si bien no sabían que usaban microorganismos para la producción de alimentos o bebidas fermentadas, ya en la antigüedad se elaboraba, por ejemplo, queso, pan, cerveza y vino, todo esto a prueba y error, aparentemente sin el conocimiento de los principios científicos, aunque si con la aplicación de lo que podría ser el precursor de un método científico (Bhatia, 2018; Norus, 2002). La segunda etapa en la historia de la Biotecnología viene dada por la Biotecnología clásica o tradicional, donde se desarrollan tecnologías como la de fermentación, producción de enzimas, antibióticos, vitaminas y varios tipos de ácidos orgánicos como vinagre, ácido cítrico, aminoácidos, todos estos procesos a nivel industrial. Robert Koch, Louis Pasteur y Joseph Lister fundaron institutos con el propósito de investigar los procesos microbianos involucrados en la fermentación (Norus, 2002).

El descubrimiento de la estructura del ADN en la década de los 50's marcó la era de la Biotecnología moderna. Dos tecnologías contribuyeron a la transición de esta última, la tecnología rADN y la tecnología hibridoma o de anticuerpos monoclonales. Ambas tecnologías encontraron rápidamente aplicaciones a nivel industrial sobre todo para el desarrollo de procedimientos diagnósticos en el campo de la parasitología, virología, estudios del cáncer y biofarmacéutica (Norus, 2002).

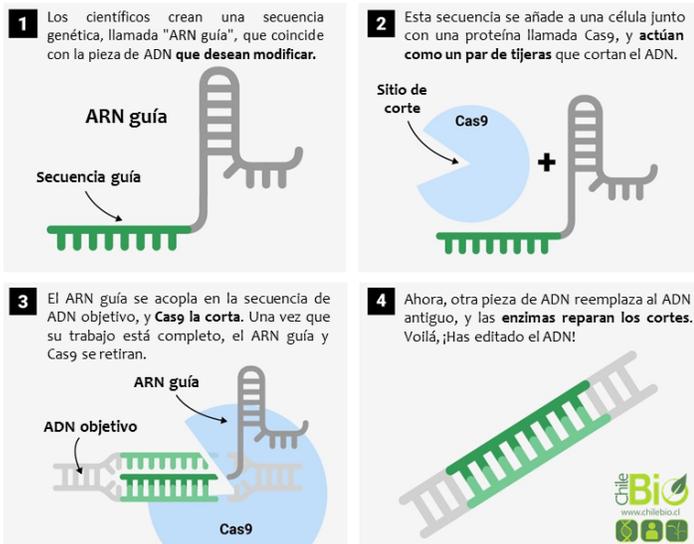


Figura 2. Esquema gráfico de edición de un gen mediante Crispr/Cas-9.

Esta tercera etapa de la Biotecnología está basada en el progreso científico subyacente, mientras que las dos primeras etapas (la Biotecnología antigua y clásica) fueron aplicaciones tecnológicas, carecieron de la comprensión sólida de los principios científicos intrínsecos (Amarakoon et al. 2017; Thieman, 2022; Norus, 2002).

2. DISCUSIÓN

2.1 PERSPECTIVA FILOSÓFICA DE LA BIOTECNOLOGÍA

La mayoría de la literatura sobre filosofía de la Biotecnología cae en el rango de las preocupaciones éticas desentrañadas de acuerdo con el descontento sobre las técnicas de ingeniería genética, no sin cierto apoyo de la comunidad científica y filosófica argumentando que tenemos "la responsabilidad de usar manipulación genética para mejorar el comportamiento humano". Dado el avance técnico-científico de la ciencia, particularmente la Biotecnología, es pertinente preguntarnos ¿todo lo técnicamente posible es éticamente aceptable? Y si lo es, ¿en qué límites jurídicos? Los filósofos de la biología han tenido poco que decir acerca de la Biotecnología, aunque, por otro lado, han tenido mucho que decir acerca de la genética, donde un gran tema ha sido las explicaciones (erróneamente) reduccionistas (Durbin, 2010).

Cuando se habla de Biotecnología, comúnmente destacan áreas de estudio como la bioquímica, biología celular, biología molecular e ingeniería genética, esta última aprovecha los conocimientos de las anteriores y es la que permite modificar el ADN para la creación de organismos genéticamente modificados (GMO's) mediante el uso de las técnicas para la clonación de genes o CRISPR.CAS 9, sin embargo continuamente se olvida que la Biotecnología es una disciplina que reúne una vasta cantidad de ciencias y técnicas

para un fin, generalmente un producto de consumo humano, a saber, un fármaco, un alimento o una bebida, entre otros, incluso hay una clasificación por colores (no oficial, pero aceptada por la comunidad biotecnológica) (Kafarski, 2012; Barcelos et al. 2018, Amarakoon et al. 2017). En contraste, la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, en su XIX Congreso Nacional, abordó 14 áreas distintas sobre Biotecnología, esto sugiera una amplia diversidad que enriquece la Biotecnología y señala su importancia en la sociedad y la investigación, las distintas disciplinas que se estudiaron en dicho congreso se encuentran descritas en la tabla 1 (Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, 2022).

Tabla 1. Esta tabla muestra las áreas en las que fue dividido el XIX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería celebrado del 27 de septiembre al 1º de octubre de 2021.

Disciplinas	Número de trabajos presentados
Biotecnología enzimática y biocatálisis (Diseño de proteínas y biocatálisis)	23
Biotecnología agrícola, vegetal y marina 6	0
Biotecnología alimentaria	36
Biotecnología ambiental	60
Bioenergía y biocombustibles	23
Biopolímeros y biomateriales 1	7
Biotecnología farmacéutica 1	6
Biotecnología microbiana 3	0
Bioingeniería y fermentaciones 3	2
Ciencias ómicas y edición de genomas 1	2
Bioinformática 2	9
Biotecnología de productos naturales y descubrimiento de nuevos fármacos.	26
Biotecnología de células troncales, terapia celular e ingeniería de tejidos	5
Biotecnología, cadena productiva y sociedad 3	

Nota: Esta tabla muestra las áreas en las que fue dividido el XIX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería celebrado del 27 de septiembre al 1º de octubre de 2021. Tomado de: Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería (2022). Memorias XIX Congreso Nacional. Revista BioTecnología Año 2021, Vol. 25 No. 4 - <https://smbb.mx/revista-biotecnologia-ano-2021-vol-25-no-4-memorias-xix-congreso-nacional/>

2.2 LA BIOTECNOLOGÍA, ¿MULTIDISCIPLINARIA, INTERDISCIPLINARIA O TRANSDISCIPLINARIA?

López (2012) destaca que la interdisciplinariedad es la unión y la colaboración entre dos o más disciplinas, donde cada una aporta sus propios esquemas conceptuales, su manera de definir cada problemática y sus métodos de investigación. De tal modo que la interdisciplinariedad aborda una o varias preguntas de investigación mediante el diálogo, la coordinación, la colaboración y la transferencia de modelos y herramientas entre las diferentes disciplinas implicadas, a diferencia de la Multidisciplinariedad, la interdisciplinariedad integra información, datos, técnicas, herramientas, perspectivas y/o teorías de uno o más cuerpos de conocimiento especializado para resolver problemas cuyas soluciones están fuera del alcance de una sola disciplina, en cambio, la multidisciplinariedad yuxtapone modelos teóricos y metodologías pertenecientes a distintas disciplinas para abordar una investigación; en este enfoque, cada especialista trabaja separadamente, existiendo nula o poca sinergia entre quienes hacen investigación (Caro Sainz et al, 2020).

Por otra parte, la transdisciplinariedad está basada en la organización de varias disciplinas, llegando a generar una nueva “parcela” de conocimiento, la cual se hace manifiesta como resultado de la superación de los límites de algunas o todas las disciplinas involucradas, como el prefijo “trans” lo indica, esta práctica está entre, a través de y más allá, de las disciplinas, así pues, “sólo se puede avanzar en el conocimiento usando nuevas visiones que se construyen a partir de los vínculos que se van descubriendo de una disciplina con otras” (Caro Sainz et al, 2020; Paoli Bolio, 2019).

Por lo tanto, podemos inferir que la Biotecnología puede tener más tintes interdisciplinarios y transdisciplinarios debido a la gran variedad de áreas que van surgiendo de la interacción entre distintas disciplinas y de la necesidad a nivel socioeconómico de diferentes líneas de investigación que ofrezcan soluciones a las problemáticas actuales.

Arnaud y Scriban (1978) ratifican que la Biotecnología se caracteriza por su aspecto interdisciplinario y sistemático, es decir, en la Biotecnología convergen la ingeniería química y la química, la metabolómica, la enzimología, la microbiología, la fisicoquímica y la termodinámica, la biología sintética, la ingeniería de biorreactores y bioprocesos, la ingeniería de alimentos, la ingeniería ambiental, ingeniería de tejidos, botánica, la física, además de las ciencias ambientales; incluso la economía conocida actualmente como bioeconomía, la economía ecológica y el metabolismo social, entre muchas más. De este modo surge una pregunta casi obligada al respecto: ¿Es la Biotecnología la rama de una ciencia o una ciencia en sí?

Ciertamente, la Biotecnología no puede considerarse una ciencia pura, ya que como Bunge y Sacristán (2017) afirman, la ciencia pura persigue un fin puramente cognitivo, mientras que el objetivo de la ciencia aplicada es un fin utilitario, por otra parte, si dicho fin utilitario es una meta a corto plazo, se convierte en técnica.

Hay algunos hechos sumamente elegantes de la ciencia que son importantes destacar y es que no pretende ser verdadera, ni, por tanto, final e incorregible, lo que afirma la ciencia es (Bunge y Sacristán, 2017):

- I. Que es más verdadera que cualquier modelo no-científico.
- II. Es capaz de probar cualquier pretensión de verdad sometiéndola a contrastación empírica.
- III. Es capaz de corregir sus propias deficiencias, es decir, de erigir representaciones parciales de las estructuras de a realidad que sean cada vez más apropiadas.

Acercas de la Biotecnología, Schramm y Kottow, (2001) argumentan que puede considerarse una tecnociencia aplicada, debido al hecho de que la Biotecnología por sí misma mezcla la ciencia y la técnica además de aportar conocimiento científico que a su vez favorece el desarrollo tecnológico. De este modo, la Biotecnología hace

desaparecer la división entre investigación pura y aplicada, es decir, no hace distinción entre conocimiento y aplicación, por lo que, al adquirir una carga social, no puede estar exenta de valoración ética. Sorpresivamente, el término Biotecnología, contiene dos errores, según Schramm y Kottow (2001): 1, calla al respecto de la ciencia y 2, habla en logos, lo cual no corresponde a la técnica, sino la reflexión o estudio sobre ella.

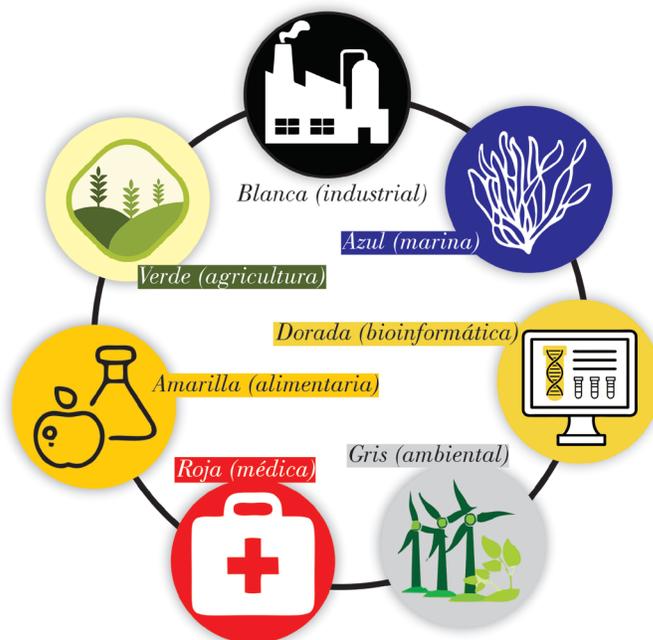


Figura 3. Clasificación de la Biotecnología por colores.

El término tecnociencia sugiere analizar estos dos conceptos por separado, es decir, por una parte, dado que en términos prácticos, la ciencia no puede elaborar conocimientos definitivos, la construcción de herramientas y artefactos conlleva, inherentemente, un fallo inesperado, errores de cálculos, por lo que la incertidumbre y el riesgo son mucho mayores a nivel técnico que a nivel teórico en el cual se desenvuelven las ciencias, por otra parte, la tecnología es aquella ciencia aplicada que se convierte en el resultado de teorías científicas para resolver problemas técnicos, así pues, con el surgimiento de la tecnociencia, podemos continuar distinguiendo su fin principal: el de la ciencia como la búsqueda del conocimiento y la explicación de la realidad; así como la tecnología como la intervención, el control o transformación de objetivos y relaciones entre la naturaleza y la sociedad (UNAM, 2022).

No obstante, como Bunge y Sacristán (2017) comenta, el término tecnociencia ignora la diferencia de objetivos como son el conocimiento en un caso y su utilidad en los demás, dicho término tampoco considera los diferentes puntos de vista y las motivaciones entre una persona exploradora que busca pistas y un investigador o artesano que busca algo de utilidad práctica, es resumen, se ignora la contribución del conocimiento básico, aplicado y técnico.

Se puede alegar que la ciencia aplicada y la técnica generan la ciencia básica y no al revés, pero es indiscutible que debe existir el conocimiento antes de poder aplicarlo.

Ahora bien, retomando la definición de Tamayo (2018), además de introducirnos el concepto de “método científico”, el autor también concibe la diferenciación entre tecnología representada por las habilidades manuales y procesos artesanales enfocados a resolver uno o varios problemas prácticos tales como la agricultura, la fabricación y manipulación de utensilios y la domesticación de animales. Por otra parte, la ciencia: los esfuerzos por entender la naturaleza del mundo que nos rodea, el pensamiento teórico, el estudio de la medicina, la astronomía y las matemáticas, por ejemplo. Por lo tanto, ¿la Biotecnología utiliza un método científico? La respuesta a esta pregunta requiere una justificación.

La mayoría de las personas con una formación científica saben cómo funciona la ciencia en su estructura más básica, esto es, el método científico. Rosenblueth (1981) lo describe como:

“...el que siguen los hombres y mujeres de ciencia (la cursiva es mía) en sus laboratorios o gabinetes cuando se dedica a la investigación científica”

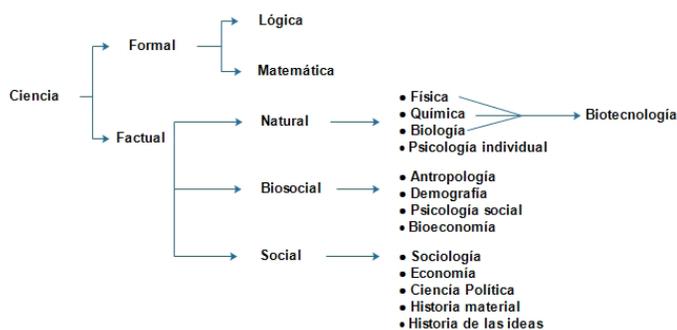


Figura 4. Una clasificación de las ciencias.

Al respecto, Tamayo (2018) comenta:

“Como hay muchos investigadores trabajando en muy diferentes problemas, es muy probable que no todos sigan un mismo método, sino que cada uno encuentre el que mejor se acomode a sus circunstancias y objetivos [...] ¿Existe el método científico? Mi respuesta es no. No hay una receta que se aplique universalmente a todos los problemas de todas las ciencias...”

Por lo tanto, se puede inferir que la Biotecnología no es llevada a cabo mediante un solo método, es decir, al ser tan diversa, interdisciplinaria y transdisciplinaria un solo método sería insostenible. Sin embargo, no hay que pensar que la Biotecnología se dirige a la deriva, tiene un fin, como lo describe la definición de Biotecnología hecha por la OCDE (2005).

“La aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos

vivos, así como a partes, productos y modelos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios”.

Acerca de esta definición, Sánchez et al, (2019), comentan que, la Biotecnología, al encontrarse constituida por un conjunto de diversas técnicas (ingeniería genética, proteómica, metabolómica), que pueden ser ejecutadas por empresas pertenecientes a diversos sectores económicos como alimentario, farmacéutico, agrícola, entre otros, tal definición es dúctil para la investigación, al mismo tiempo constituye una diferencia conceptual entre Biotecnología moderna y Biotecnología tradicional y finalmente otorga al concepto de Biotecnología la flexibilidad para incorporar nuevos desarrollos y descubrimientos. Para este punto se puede notar que a la Biotecnología se le da un enfoque necesariamente práctico y sumamente dinámico que desemboca en un abanico de áreas, como la Biotecnología farmacéutica, la Biotecnología vegetal, la Biotecnología médica, la Biotecnología alimentaria, la Biotecnología marina, por mencionar solo algunas.

Como científicos no podemos olvidar el hecho de que la Biotecnología tiene un fin, no solo es la generación de conocimiento aunque tampoco es la búsqueda de un beneficio estrictamente económico, la Biotecnología ha sido desarrollada para idear y ofrecer soluciones, estrategias y recursos que permitan la mitigación o incluso la resolución de problemática a nivel socioeconómico en donde la aplicación de la Biotecnología puede representar una alternativa más eficiente, económica y con un impacto menor que otras estrategias más tradicionales.

CONCLUSIONES

Podría pensarse que la Biotecnología y la filosofía son disciplinas paralelas entre sí, sin embargo, este pensamiento detiene el avance científico ya que la filosofía está inmersa en el corazón de la Biotecnología. Es fundamental remarcar que no toda la investigación biotecnológica se lleva a cabo sobre ingeniería genética, metabólica, biología molecular. Estas técnicas son herramientas sumamente útiles que representan etapas importantes en la historia de la biotecnología, y ciertamente son imprescindibles en determinadas líneas de investigación, como afirman Ortega et al. (2013):

“Ni toda la Biotecnología recurre a las técnicas de ingeniería genética, ni toda la ingeniería genética va encaminada a la realización de procesos biotecnológicos”.

El estudio y desarrollo de la Biotecnología debe tener un enfoque tanto social como económico, es decir, la investigación biotecnológica debe generar conocimiento y al mismo tiempo, crear alternativas que ataquen directamente problemáticas sociales, sin dejar de lado la obtención de un beneficio económico de su aplicación en la industria que

depende de ello.

El desarrollo y creación de líneas de investigación en filosofía de la Biotecnología es importante para la comprensión de los problemas, dilemas éticos y controversias derivados de la investigación biotecnológica. El mundo de la Biotecnología es mucho más que trabajar con bacterias, hongos, micropropagación, biorreactores o genética. Esta disciplina conlleva sus propios obstáculos y en ocasiones pueden ser más complejos de lo que dejan ver nuestros ojos. La filosofía de la Biotecnología provee herramientas de análisis y entendimiento, no solo para profesionales, sino para docentes y estudiantes.

REFERENCIAS

- Amarakoon, I., Hamilton, C. L., Mitchell, S., Tennant, P. & Roye, M. (2017). *Biotechnology. Pharmacognosy*, 549-563. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802104-0.00028-7>
- Bhatia, S. (2018). History, scope and development of biotechnology. En *Introduction to Pharmaceutical Biotechnology, Volume I Basic techniques and concepts* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-1299-8ch1>
- Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: general overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS Microbiology Letters*, 365(21). <https://doi.org/10.1093/femsle/fny239>
- Bedau, M. A., Vladimir, C., & Mariano, S. (2016). La esencia de la vida: Enfoques clásicos y contemporáneos de filosofía y ciencia (1.ª ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Bunge, M. & Sacristán, M. (2017). La investigación científica: Su estrategia y su filosofía. 19-31. SIGLO XXI Editores.
- Caro Saiz, J., Díaz-de la Fuente, S., Ahedo, V., Zurro Hernández, D., Madella, M., Galán, J. M., ... & Olmo, R. D. (2020). Multidisciplinariedad, interdisciplinariedad, transdisciplinariedad.
- ChileBIO. (2019). CRISPR/CAS-9. Recuperado 4 de octubre de 2022, de <https://www.chilebio.cl/edicion-de-genomas/crispr/>
- Durbin, P. T. (2010). TOWARD A PHILOSOPHY OF BIOTECHNOLOGY: AN ESSAY. *Ludus Vitalis*, XVIII(num. 33), 173-186. <http://www.ludus-vitalis.org/ojs/index.php/ludus/article/view/184>
- Encyclopaedia Herder. (2022). Filosofía de la ciencia. Recuperado mayo de 2022, de https://encyclopaedia.herdereditorial.com/wiki/Filosofia_de_la_ciencia
- Fári, M. G. & Kralovánszky, U. P. (2006). The Founding Father of Biotechnology: Károly (Karl) Ereky. *International Journal of Horticultural Science*, 12(1), 1-9. <https://core.ac.uk/download/160939234.pdf>
- González, Fredy. (2005). ¿Qué Es Un Paradigma? Análisis Teórico, Conceptual Y Psicolingüístico Del Término. *Investigación y Postgrado*, 20(1), 13-54. Recuperado en 29 de junio de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-00872005000100002&lng=es&tlng=es.
- Jesper Norus (Ed.), *The History of the Biotechnology Industry. Progress in Biotechnology*, Elsevier, Volume 20, 2002, Pages 29-47, ISSN 0921-0423, ISBN 9780444510358, [https://doi.org/10.1016/S0921-0423\(02\)80059-4](https://doi.org/10.1016/S0921-0423(02)80059-4). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921042302800594>)
- Kafarski, P. (2012). Rainbow code of biotechnology. *Chemik*. 66. 8. 814-816
- Krimsky, S. (2006). Chapter 22: Philosophy of Biotechnology. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 10(2), 210-227. <https://doi.org/10.5840/techne200610231>
- Kuhn, T. S. & Solis, C. (2022, 26 septiembre). La Estructura De Las Revoluciones Científicas (4.a ed.). FONDO DE CULTURA ECONOMICA (ME).
- López, L., (2012). La importancia de la interdisciplinariedad en la construcción del conocimiento desde la filosofía de la educación. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (13), 367-377.
- Okasha, S. (2016). Una brevísima introducción a la filosofía de la ciencia. *Oceano*.
- Ortega, G. M., Rubio, E. C., López, J. L. G. & LÓPEZ, J. L. G. (2013). *Biotecnología y alimentación*. UNED.
- Paoli Bolio, F. J. (2019). Multi, inter y transdisciplinariedad. *Problema anuario de filosofía y teoría del derecho*, (13), 347-357. Epub 19 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.22201/ijj.24487937e.2019.13>
- Renneberg, R., Serra, J. J. C. & Peralta, M. F. (2019). *Biología para principiantes*. 2-9. Reverté.
- Rosenblueth, A. (1981). El método científico. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Sánchez, M. A. M., Rosales, M. A. & Sánchez, M. A. M. (2019). La biotecnología en México: innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional. UNAM.
- Schramm, Fermín Roland, & Kottow Lang, Miguel. (2001). BIOÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA: LO HUMANO ENTRE DOS PARADIGMAS. *Acta bioethica*, 7(2), 259-267. <https://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2001000200007>.
- Shurz, G. (2013) *Philosophy of Science: A Unified Approach*. Routledge 430 pp.

Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería (2022). Memorias XIX Congreso Nacional. Revista BioTecnología Año 2021, Vol. 25 No. 4 - <https://smbb.mx/revista-biotecnologia-ano-2021-vol-25-no-4-memorias-xix-congreso-nacional/>

Thieman, W. J. (2022). Introducción A La Biotecnología (2.a ed.). ADDISON WESLEY LONGMAN/PEARSON.

UNAM • Conocimientos Fundamentales | Filosofía. (s. f.). Recuperado 21 de septiembre de 2022, de http://conocimientosfundamentales.ruu.unam.mx/filosofia/Text/70_tema_04_4.4.1.html

van den Belt, H. Philosophy of Biotechnology, Editor(s): Anthonie Meijers, In Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Technology and Engineering Sciences, North-Holland, 2009, Pages 1301-1340, ISSN 18789846, ISBN 9780444516671, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51667-1.50050-1>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444516671500501>)

Verma AS, Agrahari S, Rastogi S, Singh A. Biotechnology in the realm of history. J Pharm Bioallied Sci. 2011 Jul;3(3):321-3. doi: 10.4103/0975-7406.84430. PMID: 21966150; PMCID: PMC3178936.

