

Biología Integrativa

“Lo importante en la ciencia no es tanto obtener nuevos datos, sino descubrir nuevas formas de pensar sobre ellos”

William Lawrence Bragg

Felipe Alonso¹

¹ Instituto de Bio y Geociencias del Noroeste Argentino (IBIGEO)-CONICET-UNSa.
Fundación Killifish. Grupo de investigación y conservación.

La biología del siglo XX se caracterizó por una creciente especialización y compartimentalización de sus diferentes disciplinas, como la ecología, biología molecular, comportamiento, genética y fisiología, que desarrollaron sus propias tradiciones y teorías con poco diálogo entre ellas. A medida que avanzaba el siglo, surgieron voces que abogaban por una síntesis integradora de las disciplinas biológicas. Era necesario tender puentes entre estas áreas para comprender la biología de una manera más completa y coherente. Sin embargo, a menudo se han priorizado aproximaciones reduccionistas que, aunque en algunos casos han tenido éxito, también presentan serias limitaciones y problemas. Por tanto, en este artículo se explorarán otras aproximaciones más integradoras y holísticas como una forma de abordar estas tensiones y destacar la importancia de los enfoques no reduccionistas en la biología.

En este sentido, la Teoría Sintética de la Evolución (TSE) (ver recuadro “Enfoques reduccionistas...”) es un ejemplo paradigmático de un intento de integración en la Biología. Fue desarrollada por destacados biólogos como Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, George Gaylord Simpson, Julian Huxley y Sewall Wright. La TSE buscó integrar una amplia gama de disciplinas biológicas para proporcionar una comprensión más completa del proceso evolutivo. Sin embargo, uno de los problemas de aquellos que postularon la TSE fue que intentaron reducir toda la biología a esta teoría. Dobzhanski afirmó que “nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución”, refiriéndose a la TSE. Pero esto ha sido un obstáculo, ya que la comunidad científica que trabaja en otras disciplinas ha prestado poca atención a la TSE en términos prácticos. Por ejemplo, en muchas disciplinas como la fisiología clásica, que se relaciona estrechamente con la medicina, la TSE no ha tenido una gran influencia. Esto se debe a que la fisiología clásica desarrolló su propio cuerpo teórico e investigaciones de manera independiente y anterior a las teorías evolutivas. Por lo tanto, la TSE no es relevante para la mayoría de los fisiólogos y ha sido poco considerada en su trabajo práctico. Más allá de esto, indudablemente la TSE ha sido una

contribución importante a la comprensión de la evolución y ha permitido una mayor integración de las disciplinas biológicas.

Durante el siglo XX, surgió en la Biología un gran paradigma reduccionista: el “Dogma Central de la Biología Molecular” (ver recuadro “Enfoques reduccionistas...”), propuesto por Crick en 1958, que generó una preponderancia de explicaciones genéticas en la biología. Recientemente, dos proyectos científicos de gran envergadura ilustran esta tendencia reduccionista del pensamiento dominante de la época. El primero fue el Gran Colisionador de Hadrones del CERN (ver recuadro “Enfoques reduccionistas...”), cuyo objetivo era “encontrar” el Bosón de Higgs, también conocido como la “Partícula de Dios” por considerarse una partícula fundamental que, de conocerse, nos permitiría “conocerlo todo”. Sin embargo, estas formas de pensar resultan terriblemente reduccionistas e ingenuas. El segundo fue el Proyecto Genoma Humano (Ver recuadro), que adoptó un enfoque reduccionista enmarcado en un paradigma de determinismo genético, y ha sido criticado por este motivo (Lander, 2011). Entre las grandes promesas del proyecto estaban la identificación de genes implicados en enfermedades, la personalización de la medicina, el desarrollo de terapias y medicamentos más precisos y efectivos, y una mejor comprensión de la evolución humana. También se esperaba que el proyecto impulsara el desarrollo de nuevas tecnologías y tuviera un impacto significativo en la biotecnología y la industria farmacéutica. Sin embargo, ninguno de estos programas estuvo cerca de alcanzar tales proezas, aunque sin duda han sido hitos importantes en sus respectivas disciplinas científicas y han generado importantes avances tecnológicos. Estos ejemplos ponen de manifiesto las limitaciones de los proyectos de investigación que adoptan un enfoque reduccionista, lo que subraya la necesidad de considerar otras aproximaciones más integrativas en la investigación científica.

Durante gran parte del siglo XX, ha existido una tendencia recurrente hacia la reducción teórica de los fenómenos biológicos, tal como señaló Mayr en 2005. No obstante, se ha reconocido desde hace tiempo las limitaciones de los enfoques reduccionistas, y se ha destacado la necesidad de adoptar enfoques más complejos e integradores en biología. De hecho, Ludwig von Bertalanffy propuso en 1937 la “Teoría General de los Sistemas” (ver recuadro “Enfoques integrativos...”), una idea integradora para comprender los sistemas biológicos complejos, mucho antes de que surgieran la Teoría Sintética de la Evolución (TSE) y otras teorías reduccionistas.

A partir de la aparición de la TSE y del Dogma Central de la Biología Molecular en el siglo XX, numerosos autores, entre ellos Lynn Margulis, James Lovelock, Ramón Margalef, Stephen Jay Gould y Willi Hennig, han señalado las limitaciones de los paradigmas reduccionistas predominantes y han propuesto enfoques diferentes. La Teoría Gaia (ver recuadro “Enfoques integrativos...”) es un ejemplo de

Enfoques reduccionistas en las Ciencias Biológicas

<p>Teoría Sintética de la Evolución (TSE)</p>	<p>Se caracterizó por reducir y matematizar los procesos evolutivos a fenómenos de genética de poblaciones, basándose en las teorías rivales de Mendel sobre la Herencia y de Darwin y Wallace sobre la Selección Natural. Esta teoría intenta explicar cómo las poblaciones se diversifican y evolucionan, y cómo se forman las diferentes especies. Esta teoría tomó aspectos de varias disciplinas científicas, incluyendo la genética, la biología molecular, la sistemática, la paleontología y la biología de poblaciones. Abogó por una perspectiva más amplia y unificadora de la biología en general para explicar cómo se producen y se transmiten las variaciones genéticas en las poblaciones a lo largo del tiempo. La TSE postula que la selección natural es el principal motor de la evolución, y que ésta ocurre a nivel de poblaciones, no a nivel individual. Además, postula que la variabilidad genética es el sustrato sobre el cual actúa la selección natural, y que la evolución puede ser explicada por los cambios graduales y acumulativos que se producen a lo largo del tiempo en las frecuencias génicas de las poblaciones. Aunque la TSE ha sido ampliamente aceptada por la comunidad científica y ha permitido una mayor comprensión de la evolución y la diversidad biológica, también ha sido objeto de numerosas críticas a sus diversas formulaciones y alcances.</p>
<p>Dogma central de la biología molecular</p>	<p>Es una teoría que establece que la información genética fluye en una dirección específica dentro de las células vivas. El dogma establece que la información genética almacenada en el ADN se transcribe en ARN, y luego la secuencia de ARN se traduce en una secuencia de aminoácidos en una proteína. Se considera “central” porque describe el flujo de información genética que ocurre en todas las células y organismos, y es fundamental para la comprensión de la biología molecular y la genética. Sin embargo, cabe destacar que el dogma central de la biología molecular es una simplificación de los procesos complejos que ocurren en las células, y que en los últimos años se han descubierto excepciones a este dogma, como el papel de los ARN no codificantes en la regulación génica y otros mecanismos de regulación de la expresión génica que implican la retrotranscripción de ARN en ADN.</p>
<p>Proyecto Genoma Humano (PGH)</p>	<p>Fue un proyecto internacional que comenzó en 1990 y que tenía como objetivo mapear y secuenciar todos los genes humanos y sus variaciones. El proyecto se centró en el análisis del ADN humano para identificar los 20.000-25.000 genes que se estima que tiene el genoma humano y determinar la secuencia completa de los 3 mil millones de pares de bases de ADN que lo componen. Los científicos utilizaron tecnologías de secuenciación de ADN cada vez más sofisticadas y computadoras para procesar y analizar la gran cantidad de datos generados. El proyecto se completó en 2003, con la publicación de la secuencia completa del genoma humano. El PGH tuvo un gran impacto en la ciencia y la medicina, permitiendo una mejor comprensión de las enfermedades genéticas y el desarrollo de nuevas terapias y tratamientos, y abriendo la puerta a una nueva era de investigación genética.</p>
<p>Gran Colisionador de Hadrones (LHC)</p>	<p>Fue construido por el CERN para llevar a cabo experimentos de alta energía para estudiar las propiedades fundamentales de la materia y la naturaleza del universo. Uno de los objetivos principales fue la búsqueda del bosón de Higgs, una partícula hipotética que se postuló para explicar cómo las partículas elementales adquieren masa. El LHC aceleró haces de protones hasta casi la velocidad de la luz y los hizo colisionar en detectores gigantes ubicados en cuatro puntos del anillo. Los datos recopilados por el LHC indicaron la existencia del bosón de Higgs, lo que confirmó el modelo estándar de la física de partículas.</p>

cómo una teoría integradora, con metodología asociada y modelos matemáticos explicativos, puede generar cambios en la forma en que se comprende la interacción de los sistemas biológicos con su entorno. Aunque algunos la han considerado controvertida y especulativa, su capacidad para articular y explicar las relaciones complejas entre los seres vivos y su entorno ha llevado a la exploración de nuevos enfoques teóricos y metodológicos en la biología.

En este contexto, es importante destacar también la obra de Edgar Morin y su enfoque del Pensamiento Complejo, el cual se basa en la noción de que el mundo es un todo indivisible e interconectado (Morin & Pakman, 1994). El Pensamiento Complejo busca integrar los diferentes aspectos de la realidad y considerar las múltiples dimensiones de los fenómenos, en lugar de reducirlos a una sola perspectiva

Enfoques integrativos en las Ciencias Biológicas

<p>Teoría general de los sistemas</p>	<p>Esta teoría de Ludwig von Bertalanffy, publicada en 1937, es una teoría interdisciplinaria que busca entender la organización y comportamiento de los sistemas en distintos campos de estudio. La teoría afirma que los sistemas tienen propiedades y características que no pueden ser explicadas por la suma de sus partes individuales y sostiene que los sistemas deben ser analizados y comprendidos en términos de sus componentes y relaciones, así como en términos de su relación con otros sistemas. En otras palabras, los sistemas tienen propiedades emergentes que no pueden ser deducidas a partir de las características de las partes que los componen. Además, la teoría general de los sistemas sugiere que los sistemas tienen una jerarquía de organización, desde sistemas más simples como las células hasta sistemas más complejos como las sociedades humanas. También se enfoca en cómo los sistemas interactúan con su entorno y cómo se adaptan a los cambios en su entorno.</p>
<p>Teoría Gaia</p>	<p>Desarrollada en la década de 1970 por el científico James Lovelock y la bióloga Lynn Margulis, plantea que la Tierra es un sistema autorregulado y complejo en el que los procesos biológicos y ambientales interactúan continuamente para mantener un equilibrio y una homeostasis¹. Esta teoría sostiene que la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera forman componentes interconectados de un sistema global, y cualquier perturbación en uno de estos componentes puede afectar a todo el sistema. Además, postula que la vida tiene un papel activo en la regulación del clima y el medio ambiente terrestres, y que los organismos vivos influyen en las condiciones físicas y químicas de su entorno. Aunque ha sido objeto de críticas y debate dentro de la comunidad científica, la Teoría Gaia ha tenido un impacto significativo en la ecología y la biología, y ha impulsado la investigación sobre la interacción entre la vida y el medio ambiente.</p>

¹ En la teoría de Gaia, la homeostasis se refiere al proceso por el cual el planeta Tierra mantiene un equilibrio dinámico y estable en su ambiente físico y químico. Según esta teoría, la biosfera y los procesos geofísicos están interconectados y se autorregulan para mantener condiciones óptimas para la vida en el planeta. Por lo tanto, la homeostasis en la teoría de Gaia se refiere a un proceso de autorregulación global en el que los organismos y los procesos geofísicos interactúan para mantener un ambiente estable y óptimo para la vida. En otras palabras, la Tierra se comporta como un sistema autorregulado, donde la vida y el ambiente interactúan de forma dinámica para mantener un equilibrio homeostático en la biosfera.

o disciplina. De esta manera, se busca superar la fragmentación y la simplificación excesiva que han caracterizado a muchos enfoques reduccionistas en la ciencia y en otros campos del conocimiento. El enfoque de Morin ha tenido una gran influencia en diversas áreas, desde la filosofía y la epistemología hasta la educación y la gestión de empresas, y ha sido reconocido como una importante contribución a la reflexión sobre los desafíos de nuestra época.

¿Por qué son importantes los enfoques integradores en Biología?

La concepción clásica de la Biología considera que los sistemas biológicos están compuestos por una serie de niveles jerárquicos, donde los niveles más básicos explican a los niveles superiores. Por ejemplo, se podría pensar que los órganos son una mera suma de los tejidos que los componen, y que para entenderlos bastaría con entender los tejidos y sumarlos. Sin embargo, esta visión no es aplicable cuando consideramos a los sistemas biológicos como sistemas complejos, que no tienen partes privilegiadas. Por lo tanto, los proyectos de investigación que intentan integrar diferentes aspectos del conocimiento pueden ser más productivos que aquellos que reducen todo a un solo tipo de enfoque o conjunto de teorías. Un tejido no es simplemente la suma de sus partes, sino que también es una función de las interacciones que establece con el resto del organismo, así como de su contexto fisiológico, ecológico y evolutivo. Para comprender cómo un tejido evolucionó, funciona o se define, es necesario adoptar un enfoque integrador que contemple no solo sus componentes, sino también las interacciones que establece con el resto del organismo, su relación con la ecología y su historia evolutiva, entre otros factores. Por tanto, al considerar los sistemas biológicos como sistemas complejos, no debemos centrar nuestras explicaciones en los niveles de organización inferiores para explicar lo que sucede en los niveles superiores, ya que todas las partes están en constante interacción. La preponderancia de una parte del sistema sobre el resto es subjetiva. Tomemos como ejemplo un auto. Si bien se puede considerar que el motor es la parte más importante, ¿podría el auto “funcionar” sin el volante, las ruedas o los frenos? En la organización jerárquica de la materia, asumimos que lo más pequeño es fundamental para componer el nivel subsiguiente, pero el sistema en su conjunto es lo que tiene sentido. No se puede concebir un organismo fuera de su ecosistema, un tejido fuera de un individuo o un gen fuera de una célula. Por lo tanto, un sistema biológico no tiene partes preponderantes, sino que las partes tienen sentido como parte de un conjunto. Sin embargo, esto no se refleja en los programas de investigación dominantes en la ciencia. Además, es importante tener en cuenta que los sistemas biológicos tienen una historia evolutiva que no se debe omitir en su análisis.

Para abordar adecuadamente la biología integradora, debemos cambiar la concepción de niveles a una perspectiva de redes de interacciones entre subsistemas. Es esencial tener en cuenta la trama de

interacciones entre los componentes de los sistemas biológicos, sin privilegiar partes específicas (Figura 1). Un ejemplo interesante de esta perspectiva es el trabajo de Noble (2015), quien propone una síntesis integradora de la evolución que destaca la importancia de incluir una red de interacciones en lugar de privilegiar los genes como agentes causantes (Figura 2).

En la investigación científica se ha hablado con frecuencia sobre la necesidad de adoptar enfoques interdisciplinarios e integradores. Sin embargo, a menudo estos se llevan a cabo con una jerarquía entre las disciplinas y el intento de reducir y explicar una disciplina a partir de la otra. Por ejemplo, la revista *Integrative Biology* supuestamente promueve estudios interdisciplinarios en ciencias de la vida, pero luego aclara “a nivel molecular y celular”, lo que indica claramente un reduccionismo de toda la biología para ser explicada únicamente por los niveles “inferiores”. Otro ejemplo de enfoques reduccionistas es la disciplina denominada *Ecología Molecular*, que se enfoca en el estudio de los procesos ecológicos y evolutivos “a nivel molecular y genético”. En ambos enfoques se obtienen visiones fragmentadas e incompletas del objeto de estudio, ya que no pueden contemplarse las interacciones entre los diferentes niveles de organización biológica y sus propiedades emergentes.

En su artículo “Where is the Evo in Evo-Devo (evolutionary developmental biology)?” Diogo (2016) argumenta que, aunque la biología del desarrollo evolutiva (Evo-Devo) busca integrar la genética, la biología del desarrollo y la evolución, en la práctica, existe una clara preponderancia de lo “Devo” (desarrollo) y lo “Geno” (genética). Diogo concluyó que esta tendencia puede llevar a una pérdida de enfoque en el organismo en su conjunto y en las grandes preguntas de la evolución, tanto micro como macro, después de analizar 56 trabajos presentados en una reunión de la Pan-American Society for Evo-Devo. En efecto, la supuesta integración de las disciplinas se reduce a explicar las bases genéticas del desarrollo con la intención de eventualmente explicar la evolución. Esta jerarquía de niveles y procesos,

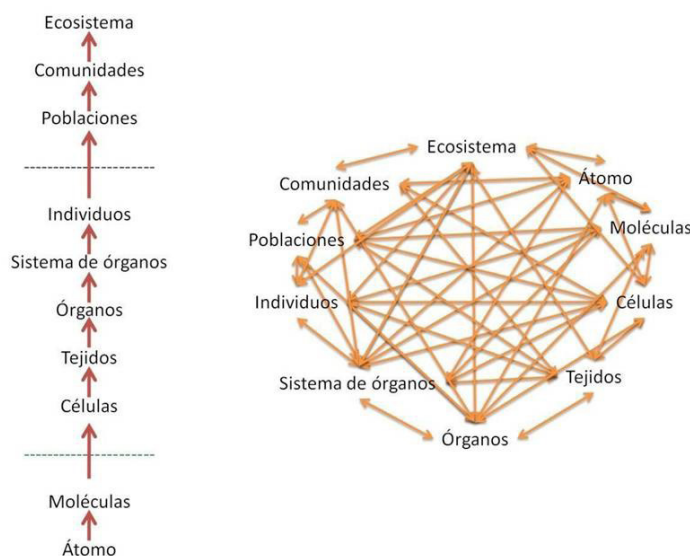


Figura 1. Niveles de organización. A la izquierda un esquema jerárquico tradicional. A la derecha una trama no jerárquica que considera las interacciones a diferentes “niveles”.

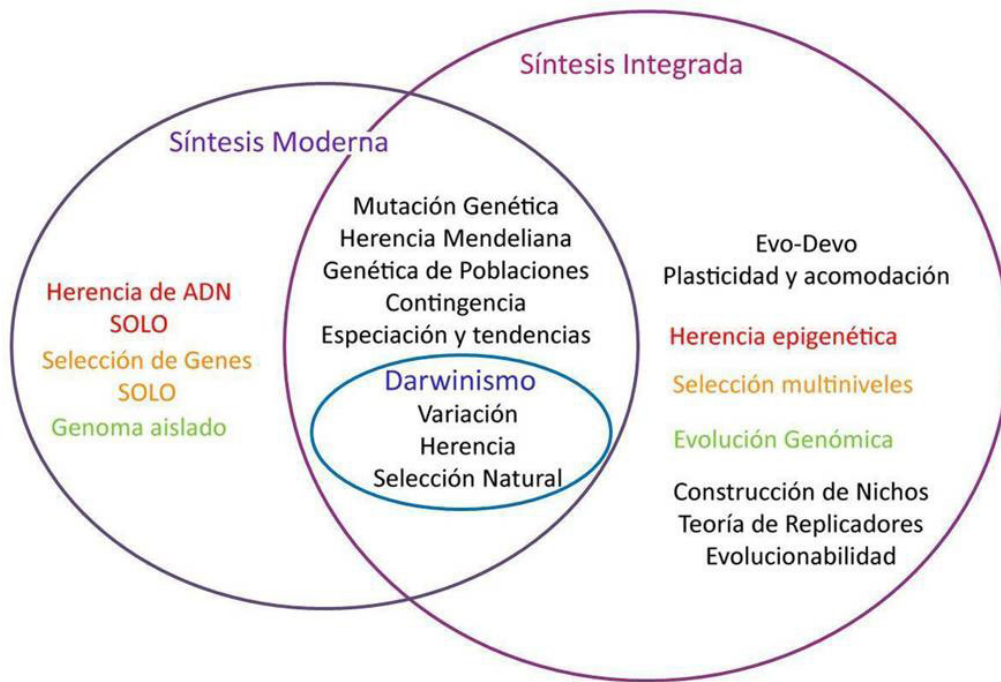


Figura 2. Este diagrama presenta las definiciones del darwinismo, la Teoría Sintética de la Evolución (TSE) (también conocida como Síntesis Moderna o neodarwinismo) y la Síntesis Integrada, y fue adaptado de Noble (2015), quien propone una síntesis integradora de la evolución que destaca la importancia de incluir una red de interacciones en lugar de privilegiar los genes como agentes causantes. En ese sentido, los elementos que son incompatibles con la TSE se muestran en color a la derecha, y las razones de la incompatibilidad se explican en los tres elementos correspondientes de colores a la izquierda. Estos tres supuestos de la TSE subyacen a lo que se necesita para extender o reemplazarla; por lo tanto, la TSE se muestra como un óvalo que se extiende fuera de la gama de la síntesis extendida, lo que implica que la síntesis extendida es una sustitución en lugar de una extensión. Para más explicación de estos términos, ver Glosario.

de genética a desarrollo y evolución, refleja cómo los supuestos enfoques integradores son simples intentos de reducir teórica y metodológicamente las otras disciplinas a la genética.

Para comprender la complejidad de la biología es fundamental evitar el reduccionismo y adoptar enfoques holísticos que consideren las interacciones entre los diferentes niveles de organización y la historia evolutiva de cada sistema. Las partes de un sistema no tienen una preponderancia intrínseca, sino que son significativas en el contexto del sistema como un todo, por lo que se necesita una perspectiva interdisciplinaria e integral para comprender la complejidad de la biología y evitar reducir los sistemas a sus partes.

La importancia de enfoques integradores se evidencia en estudios como el cambio climático y sus efectos, así como en la evolución de los organismos. Desde el punto de vista evolutivo, las características fenotípicas evolucionan en conjunto, y los estudios integradores son esenciales para comprender los efectos del cambio climático a nivel global debido a la complejidad del fenómeno y su impacto en

Glosario

Herencia de ADN	proceso por el cual la información genética contenida en el ADN se transmite de una generación a la siguiente. El ADN es el material genético que se encuentra en el núcleo de las células y contiene la información necesaria para el desarrollo y funcionamiento de los organismos
Selección de genes	refiere a la selección natural actuando a nivel de los genes exclusivamente y no a otros niveles
Gen	unidad de información hereditaria que se encuentra en el ADN y codifica una proteína o una secuencia de ARN con una función específica
Genoma	colección completa de información genética que se encuentra en las células de un organismo en moléculas de ADN
Mutación genética	proceso en el que ocurren cambios en la secuencia de ADN que conforma los genes
Herencia mendeliana	los rasgos heredados son controlados por dos alelos de un gen, uno de cada progenitor, que pueden ser dominantes o recesivos y determinan si el rasgo se manifiesta o no
Genética de poblaciones	estudia la variación genética y su distribución en poblaciones a lo largo del tiempo debido a procesos evolutivos como selección natural, deriva genética, migración y mutación. Es esencial para entender la evolución y la gestión de poblaciones de especies
Contingencia	refiere a que eventos aleatorios pueden influir en la evolución de manera impredecible, lo que significa que los resultados evolutivos no están predeterminados y podrían haber sido diferentes
Especiación	proceso por el cual una especie se divide en dos o más especies distintas
Tendencias evolutivas	refieren a los patrones generales de cambio en las características biológicas a lo largo del tiempo
Variación	se refiere a las diferencias que existen entre los individuos de una población en términos de características heredables
Selección natural	mecanismo evolutivo producto de la supervivencia y reproducción diferencial de los individuos debido a diferencias en su fenotipo
<i>Evo-Devo</i>	campo interdisciplinario de la biología que estudia cómo los cambios en los procesos de desarrollo pueden dar lugar a la diversidad biológica
Plasticidad fenotípica	capacidad de un organismo para producir diferentes fenotipos en respuesta a cambios en el ambiente o en su desarrollo
Acomodación fenotípica	se refiere al proceso mediante el cual un organismo puede cambiar su fenotipo en respuesta a un estímulo ambiental lo que le permite lidiar mejor con las condiciones dadas
Herencia epigenética	cambios en la expresión génica que pueden transmitirse de una generación a otra sin cambios en la secuencia de ADN, producidos por modificaciones químicas en el ADN y en las proteínas que lo empaquetan en la célula
Selección multinivel	la selección natural opera a diferentes niveles biológicos y la evolución de un rasgo depende de su valor adaptativo en múltiples niveles
Evolución genómica	cambios en estructura y composición de genomas, como tamaño y número de cromosomas, duplicación y transferencia horizontal de genes, que influyen en la diversidad biológica y adaptación de los organismos
Construcción de nichos	refiere a cómo los organismos, a través de su comportamiento y actividades, modifican el entorno que los rodea y crean un nicho ecológico en el que se desarrollan y que puede seleccionar ciertos rasgos de los organismos recíprocamente
Teoría de los replicadores	propuesta por Richard Dawkins, sostiene que los genes son los agentes de la evolución, al replicarse y transmitirse de una generación a otra, determinando las características de los organismos. La selección natural actúa sobre los genes, favoreciendo aquellos que aumentan la supervivencia y reproducción de los organismos. En este sentido, la evolución biológica sería una competencia entre variantes de genes por su supervivencia y propagación en la población
Evolucionabilidad	capacidad de un sistema biológico para producir variación genética y evolucionar. Es esencial para la adaptación y supervivencia de las especies en entornos cambiantes. Los estudios se enfocan en los factores que afectan la generación de variabilidad genética y su influencia en la evolución a largo plazo

sistemas naturales, sociales y económicos. Al integrar información de diferentes disciplinas, los estudios pueden proporcionar una comprensión más completa de los efectos del cambio climático, identificar soluciones y políticas efectivas para abordarlo y abordar las causas subyacentes del fenómeno.

Es importante destacar que la unicidad de los fenómenos biológicos hace necesaria la colaboración y el trabajo en equipo entre investigadores de diferentes disciplinas para lograr un enfoque integrador. Aunque se entiende la utilidad de aislar partes del sistema para su estudio por una cuestión práctica, se debe evitar analizar subsistemas por separado y luego simplemente sumarlos. En su lugar, por ejemplo, se puede hacer un nuevo análisis del sistema en su conjunto y de las interacciones entre las partes para lograr una mejor integración. Este enfoque, sin embargo, puede tener limitaciones, como el sesgo en la selección de subsistemas, pero se considera una mejora significativa respecto al enfoque reduccionista preponderante. En contraste, Ferreira y Folguera (2014) sugieren abandonar el modelo de relación universal y la idea de un modelo de integración aplicable en biología. Proponen, en su lugar, un enfoque particular para cada caso y problema concreto, argumentando que intentar una unificación total podría constreñir el desarrollo de la biología. Su enfoque busca evitar la imposición de una estructura universal en el análisis de los fenómenos biológicos y enfatiza la necesidad de adaptar el abordaje metodológico a cada caso particular.

En resumen, en este artículo se han examinado las críticas que se plantean actualmente al reduccionismo hegemónico que aún prevalece en la Biología. Las nuevas propuestas sugieren que es esencial considerar la complejidad de los fenómenos biológicos y adoptar enfoques integradores para comprenderlos de manera más completa y precisa. Es posible que en el futuro se desarrollen nuevas formas de análisis y metodologías que permitan una comprensión aún más profunda y exhaustiva de la vida en todas sus dimensiones.

REFERENCIAS

- CRICK F. 1970. Central dogma of molecular biology. *Nature*, 227 (5258): 561–3.
- DIOGO R. 2016. Where is the Evo in evo-devo (evolutionary developmental biology)? *Journal of Experimental Zoology (Molecular and Developmental Evolution)*, 326B: 9–18.
- DOBZHANSKY T. 1973. Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. *American Biology Teacher*, 35 (3): 125–129.

DOBZHANSKY T, TG DOBZHANSKY. 1937. *Genetics and the Origin of Species* (No. 11). Columbia University Press.

FERREIRA MJ, G FOLGUERA. 2014. Proliferation of subdisciplines in biology: the debacle of reductionism and new strategies of unification. *Scientiae Studia*, 12(1): 121-135.

LANDER ES. 2011. Initial impact of the sequencing of the human genome. *Nature*, 470(7333): 187-197.

MAYR E. 1942. *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. Harvard University Press.

MAYR E. 2005. *Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Katz Editores, Buenos Aires. 280p.

MORIN E, M PAKMAN. 1994. *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.

NOBLE D. 2015. Evolution beyond neo-Darwinism: a new conceptual framework. *Journal of Experimental Biology*, 218(1): 7-13.

VON BERTALANFFY L. 1937. *Das Gefüge des Lebens*. BG Teubner.