

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

FICHAS

KYRAODUS CHURCALENSIS

YARARÁ CHICA

ARTÍCULOS

VOLCÁN LÁSCAR

BIOLOGÍA INTEGRATIVA



CONICET



I B I G E O

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 13, Número 1 Abril 2023

ISSN 1853-6700

Comité Editorial

Silvana Geuna. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Carolina Montero. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Soledad Valdecantos. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Natalia Zimicz. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Pág. 1.

Pág. 3 -
N Zimicz
Pág. 4 -
MP Cabrera, JC Stazzonelli, M Pedraza

Pág. 5 -

M Cirer, E Berteza
Pág. 16 -
F Alonso

Foto de tapa: Ejemplar adulto de *Bothrops diporus* donde puede observarse el patrón de coloración del cuerpo y el ojo con pupila elíptica. Foto: J. C. Stazzonelli.

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina

Es una Unidad Ejecutora de doble
pertenencia CONICET-Universidad
Nacional de Salta.

El IBIGEO tiene entre sus objetivos principales: 1) planificar y ejecutar investigaciones en diversos temas relacionados con los recursos naturales de la región; 2) promover la difusión de los resultados de las investigaciones en el ámbito científico; 3) participar en la formación de recursos humanos universitarios de grado y postgrado; 4) colaborar en la organización de conferencias, reuniones y cursos; 5) asesorar en ámbitos públicos y/o privados para la planificación y/o resolución de problemas; y 6) estimular el interés del público por las ciencias y difundir el conocimiento generado por el estudio de temas específicos de la región.

CONICET



I B I G E O

Editorial

¿Qué tanto sabemos de los riesgos naturales a los que estamos expuestos por vivir donde vivimos? Hace poco menos de dos meses todos los medios de comunicación del mundo dedicaban sus páginas y horas al aire para hablar de uno de los desastres naturales más impactantes de los últimos años, el terremoto de Turquía-Siria. Fueron casi 55.000 vidas humanas las que se perdieron con ese sismo además de las enormes pérdidas materiales. Y ante la cara del horror surgen las preguntas inmediatas: ¿qué pasó con las construcciones en las ciudades afectadas? ¿es Turquía una zona de actividad sísmica recurrente? ¿qué grado de conocimiento tenía la sociedad turca sobre terremotos? El Dr. Víctor Ramos, uno de los geólogos más importantes que tenemos en Argentina, dedicó un episodio en su canal de youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=vfoTGqKJNY>) a explicar las causas geológicas que subyacen al terremoto de Turquía y al porqué de la gran cantidad de muertos que ha dejado. Turquía se localiza en una región del planeta donde colisionan al menos tres placas tectónicas y el registro histórico de grandes terremotos data del año 111 después de Cristo. En los últimos 100 años se contabilizaron al menos tres terremotos que superaron los 20.000 muertos. Aunque en Turquía existen reglas de construcción antisísmica, el enorme número de víctimas se debe al colapso de edificios modernos que no cumplían con los requisitos establecidos por la ley pero que fueron igualmente habilitados y las personas que los habitaron hoy yacen bajo los escombros.

Salta no es ajena a los terremotos, y algunos de ellos han sido muy destructivos como el de 1692 que afectó la ciudad de Esteco y tuvo una magnitud aproximada de 7.0 en la escala de Richter. ¿Cuánto sabemos los salteños sobre: a) la peligrosidad sísmica de la región donde vivimos; b) qué hacer en caso de un terremoto; c) de las normas de construcción antisísmicas? ¿Son los edificios públicos como escuelas, universidades, teatros y cines, sismorresistentes? Estas preguntas sumadas a las mencionadas anteriormente fueron un común denominador entre la población de Salta y llevaron a que diferentes medios de comunicación se contactaran y entrevistaran a investigadores geólogos de Ibigeo para dar a conocer respuestas a estos cuestionamientos y explicar la situación de la provincia de Salta en cuanto a peligrosidad y riesgo sísmico. Una gran parte de la región del NOA está dentro de la categoría de peligrosidad sísmica Moderada, siendo la ciudad de Salta Capital y alrededores de una Peligrosidad Elevada de acuerdo a la clasificación del INPRES (Instituto de Prevención Sísmica de Argentina), lo que significa que la región es tectónicamente activa registrando diariamente sismos de diferente magnitud. En cuanto al Riesgo, este será mayor en las ciudades donde se concentra la población e infraestructura que en zonas urbanas, y sobre todo, el tipo de edificaciones jugará un rol muy importante. En Argentina se establecieron las Normas de Edificación Sismorresistente recién a partir de 1972 con la creación del INPRES, y en Salta comenzaron a implementarse en 1980 con la promulgación de la Ley N 5.556. Desde nuestro instituto siempre recordamos a la población la importancia de implementar la Educación Sísmica en las escuelas y hacer simulacros periódicamente en todas las organizaciones tanto públicas como privadas.

Pusimos el ejemplo del terremoto de Turquía-Siria pero existen otros fenómenos naturales que implican importantes riesgos a zonas pobladas, como es la actividad volcánica, entre otros. También recientemente el volcán Láscar, ubicado en el país vecino de Chile en el límite con Argentina (provincia de Jujuy) entró en actividad y desde enero de este año se encontraba en estado de alerta naranja y actualmente paso a amarillo. En este número de Temas se presenta un artículo muy interesante sobre este volcán donde los autores nos ilustran sobre los niveles de alerta volcánica y los protocolos a seguir ante la eventual erupción del mismo y nos cuentan sobre la sinergia exitosa entre Chile y Argentina en su monitoreo.

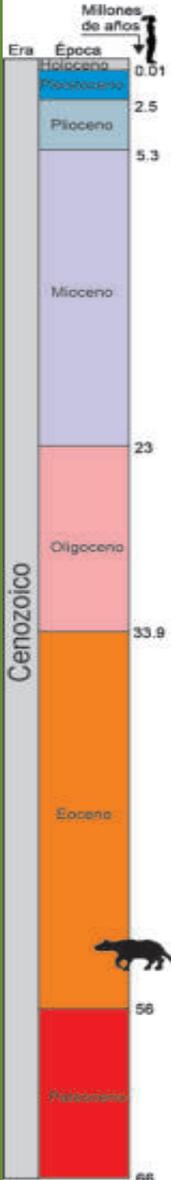
Desde nuestra revista, pretendemos brindar información científica de calidad a nuestros lectores con el deseo de contribuir a formar una sociedad criteriosa e informada que cuente con los elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones.

Comité Editorial
Temas de Biología y Geología del NOA
Silvana Geuna
Carolina Montero
Soledad Valdecantos
Natalia Zimicz

Natalia Zimicz¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO-UNSa-CONICET) email: natalia.zimicz@gmail.com

Kyraodus churcalensis



Clasificación: Panperissodactyla
Edad: Eoceno temprano (52 Ma)
Procedencia estratigráfica: Formación Lumbreira Inferior
Procedencia geográfica: Parque Nacional Los Cardones, Salta, Argentina
Colectora: Kyra Zubiri

Con el término Panperissodactyla se designa un grupo de mamíferos placentarios (el desarrollo del feto tiene lugar en el interior del útero de la madre) que contiene a los Perissodactyla (caballos, rinocerontes y tapires) y un grupo de ungulados (mamíferos que se apoyan y caminan con el extremo de los dedos) nativos sudamericanos (UNaS). Los UNaS poblaron América del Sur durante el Cenozoico y sus orígenes se remontan al Cretácico tardío-Paleoceno temprano (70-64 Ma). Fueron muy diversos y ocuparon especialmente el rol de los herbívoros en nuestro continente. Algunos de esos UNaS son conocidos por haber aparecido representados en alguna película de animación reciente sobre las últimas glaciaciones (períodos dominados por glaciares). La macrauchenia y el toxodon, son los ejemplos clásicos de este grupo de mamíferos. Hace pocos años se descubrió utilizando análisis moleculares que estos dos animales compartían un ancestro común con el tapir o Anta como lo llamamos aquí en Salta. Lo llamativo de este parentesco, es que los tapires llegaron a nuestro continente hace poco más de 2,5 millones de años, en lo que se conoce como el Gran Intercambio Biótico Americano, y los ungulados nativos están aquí desde largo tiempo antes. Esto nos lleva a indagar en el árbol genealógico de los UNaS y buscar datos que nos permitan entender estas relaciones de ancestralidad y en que sitio tuvo lugar el origen de estos ungulados.

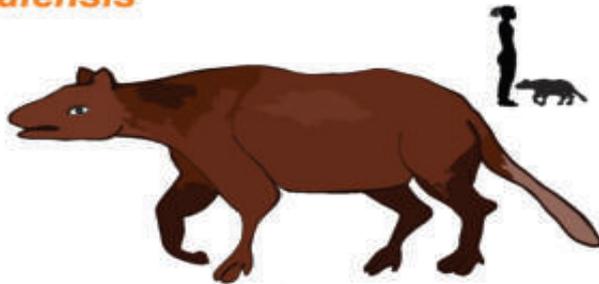
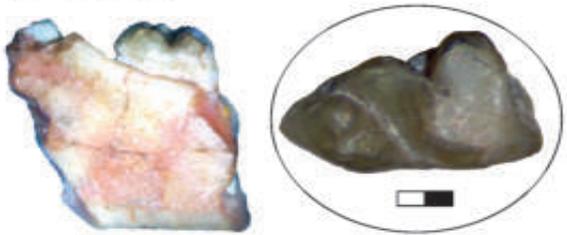


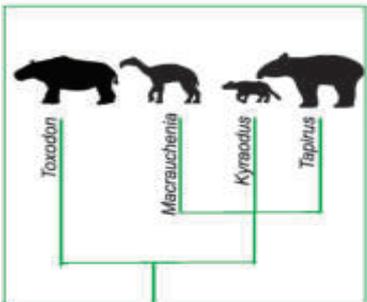
Ilustración: Kyra Zubiri

El material hallado es una porción de una pequeña mandíbula con una muela posterior. Las características anatómicas preservadas en el ejemplar permitieron determinar la identidad de la especie.



Fotografía: en vista lateral y en planta del espécimen IBIGEO-P127 depositado en la Colección de Paleontología del IBIGEO. Escala: 1 milímetro

Por el momento, esos estudios están en proceso, pero la evidencia que tenemos es que tales ancestros muy probablemente vivieron en América del Norte durante el Cretácico tardío y aprovechando las tierras emergidas en lo que hoy es el mar Caribe, se trasladaron hasta a América del Sur y dieron origen a los distintos grupos de UNaS. Algunos datos interesantes de *Kyraodus* son que vivió en Salta hace unos 50 millones de años durante un tiempo en el que el clima era mucho más cálido de lo que es actualmente. La Cordillera aun no se había levantado, por lo que caminar entre Salta y el Parque Nacional Los Cardones no requería cruzar ningún cerro. La vegetación típica era boscosa, llovía más, había ríos que llevaban agua todo el año y existía una comunidad de animales que hoy ya no existen en ese lugar, como cocodrilos, tortugas acuáticas, marsupiales carnívoros y una gran variedad de UNaS además de *Kyraodus*. Este último era del tamaño de un perro mediano (10-15 kg aproximadamente), se alimentaba probablemente en los estratos más bajos del bosque pastando la vegetación de tipo herbácea.



En este punto, los condilartros sudamericanos como *Kyraodus*, juegan un rol muy importante porque son ungulados muy antiguos que conservan algunas características morfológicas que pueden dar indicios de en qué momento vivió el ancestro común a tapires, macrauchenias y toxodontes.

Link a la publicación: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08912963.2022.2138373>

María Paula Cabrera¹, Juan Carlos Stazzonelli¹ y Micaela Pedraza²

¹ Instituto de Vertebrados, Fundación Miguel Lillo. ² Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), San Miguel de Tucumán.

Yarará, yarará chica (*Bothrops diporus*)

Clasificación: Clase Sauropsida; Orden Squamata; Familia Viperidae

Distribución geográfica: Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay.



Bothrops diporus, conocida vulgarmente como yarará, es una serpiente mediana que puede llegar a medir un poco más del metro de longitud. El color de fondo es castaño claro y en algunos ejemplares casi gris, con manchas subtriangulares más oscuras a cada lado de la línea media del lomo, y por debajo de ellas, manchas subredondeadas más claras (Figura 1). El vientre es blanquecino y puede presentar puntos oscuros de cantidad variada. La cola es casi siempre oscura, aunque en ejemplares recién nacidos puede ser blanca o amarillenta (Figura 2).



Figura 1: Ejemplar adulto de *Bothrops diporus* donde puede observarse el patrón de coloración del cuerpo y el ojo con pupila elíptica. Foto: J. C. Stazzonelli



Figura 2: Ejemplar recién nacido de *Bothrops diporus* con la punta de la cola de color claro. Foto: J. C. Stazzonelli.

Las escamas del dorso del cuerpo son "quilladas" (Figura 3), es decir que tienen una línea levantada en el centro y a lo largo de esta, aunque algunas escamas de la cabeza y las escamas ventrales son lisas. En la cabeza encontramos características importantes para reconocerlas: el ojo que tiene pupila elíptica vertical (como la del gato doméstico, Figura 1), las fosetas loreales, que son dos orificios bien notorios ubicados entre las narinas (al extremo del hocico) y los ojos, las cuales le permite detectar diferencias térmicas, típico de la Familia a la cual pertenece la yarará (Figura 3). Es muy común encontrarlas en actividad en horarios crepusculares y nocturnos. Suelen ser bastante agresivas, y cuando se irritan hacen vibrar la punta de la cola y golpean el suelo o la vegetación, haciendo un sonido que puede recordar a la serpiente de cascabel. Son vivíparas, normalmente las pariciones pueden rondar las 18 crías, pero hay registros de hembras con 25 crías. Se alimentan principalmente de pequeños mamíferos y anfibios, aunque también puede incluir pequeñas aves y lagartijas, e incluso llegan a consumir otras serpientes.

En nuestro país se conoce su presencia en casi todas las provincias excepto Buenos Aires, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, y no existe seguridad total de su presencia en Misiones (Mapa). Es muy versátil en el uso de diferentes ambientes, por lo que se la puede encontrar en varias regiones fitogeográficas, desde el Chaco hasta el Monte, incluyendo el Espinal y las Yungas. También es muy frecuente en ambientes disturbados. Se considera a esta especie como "No amenazada".

Es una de las serpientes venenosas más comunes y de mayor distribución en Argentina. Los accidentes pueden ser graves, por lo que se recomienda no manipularla, ni tratar de capturarla o matarla. Su mordedura debe ser tratada con suero específico, y supervisada por personal capacitado.

Se recomienda siempre mantener el orden y limpieza en terrenos y alrededores de hogares, para evitar dar refugio tanto a serpientes como a sus presas, y reducir las posibilidades de accidentes. Otra recomendación importante es no matarlas, ya que su función como controladores de roedores es importante en la naturaleza y beneficiosa en la salud del medioambiente.



Figura 3: Ejemplar adulto de *Bothrops diporus*, donde pueden observarse las escamas con quillas prominentes y la foseta loreal (flecha). Foto: J. C. Stazzonelli

Una ventana al pasado del volcán Láscar, ejemplo de la colaboración científica entre Argentina y Chile en la gestión del riesgo

Mercedes Cirer¹, Esteban Berteá¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa – CONICET). e-mails: mercedescirer@gmail.com, estebansantiagoberteá@gmail.com

A lo largo de la cadena andina (Figura 1a), un extenso arco volcánico nos recuerda permanentemente la impredecibilidad y la majestuosidad de nuestro planeta. El vulcanismo ha sido parte de la historia y cultura de los pueblos que habitan en la zona andina, quienes han aprendido a convivir con la actividad volcánica y han aprovechado los recursos naturales que ofrece la región. Sin embargo, su constante evolución y transformación sigue desafiando la capacidad humana para comprender y enfrentar los procesos geológicos que ocurren en torno a los volcanes. Por otra parte, los avances en tecnología y la creación de redes de monitoreo han permitido a los científicos tener una mejor comprensión de los volcanes y sus procesos, lo que ha llevado a la creación de planes de gestión del riesgo volcánico y a la prevención de desastres.

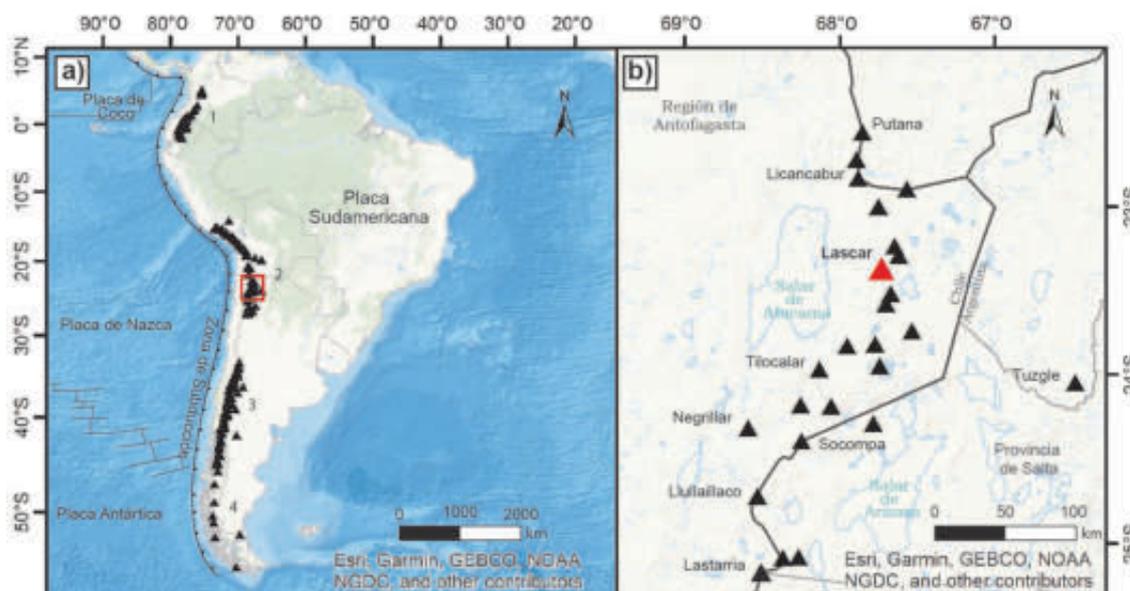


Figura 1. a) Cadenas volcánicas de la cordillera de los Andes. 1-4 Segmentos del Arco Volcánico. b) Ubicación del volcán Láscar en la Cadena Volcánica de los Andes.

Actualmente el organismo encargado de prevenir, monitorear y mitigar los efectos de erupciones volcánicas en nuestro país es el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV) el cual trabaja en colaboración con el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) en Chile ya que muchos de los volcanes se encuentran en zonas limítrofes entre Argentina y Chile, y un evento eruptivo en cualquiera de ellos puede afectar a ambos países. La comunicación y trabajo conjunto entre ambos observatorios es esencial para la prevención y mitigación de los riesgos asociados a la actividad volcánica en la región. Además, ambos observatorios colaboran en la difusión de información y alertas para la población y autoridades de ambos países.

Ambos organismos se encargan del monitoreo del volcán más activo del norte de Chile y uno de los más activos de Sudamérica, el Volcán Láscar (Figura 1b). Si bien este volcán, se localiza en el vasto Desierto de Atacama, en Chile, a unos 75 km al oeste del paso fronterizo de Jama, Argentina, la erupción del 18 de abril de 1993 quedó grabada en la memoria de muchos argentinos debido a que la ceniza volcánica afectó varias ciudades de nuestro país. Como resultado, científicos chilenos y argentinos han enfocado sus esfuerzos y recursos en estudiar y monitorear continuamente este volcán, con el fin de salvaguardar la seguridad de la población.

En cierta manera el evento de abril de 1993, ha despertado una gran inquietud acerca de los fenómenos que desencadenan estas erupciones y cómo, a pesar de que estos volcanes se localizan en áreas remotas, tienen la capacidad de afectar amplias regiones. Sin embargo, las últimas noticias sobre la nueva actividad volcánica detectada en este volcán han reavivado aún más nuestra curiosidad sobre este fenómeno tan singular.

En este contexto, el objetivo de este artículo es proporcionar un breve resumen de la historia eruptiva del volcán Láscar desde sus inicios hasta la actualidad, lo que nos permitirá adentrarnos en su naturaleza y comprender con mayor claridad qué tipo de volcán es y, lo que resulta aún más relevante, qué tipo de erupciones puede generar y cómo estas podrían interrumpir y/o afectar nuestra rutina.

Un recorrido por su historia eruptiva hasta la actualidad

Hace poco menos de unos 43 mil años atrás, a unos 25 km al este de lo que actualmente conocemos como el Salar de Atacama, Chile, una serie de importantes erupciones explosivas dieron origen a un típico cono volcánico formado por sucesivas capas de material volcánico que denominamos estratocono o estratovolcán (Gardeweg et al. 1998). Sin embargo, esta actividad volcánica no siempre estuvo centrada en este cono sino que posteriormente migró ligeramente hacia el oeste, generando erupciones más jóvenes altamente explosivas, que dieron origen a un nuevo estratocono occidental

datado aproximadamente en 26 mil años, parcialmente superpuesto al anterior y que definió finalmente la forma actual del volcán Lászar (Gardeweg et al. 1998). Actualmente, si observamos una imagen satelital de este volcán (Figura 2) vemos que no solo existen dos conos superpuestos, sino que también se observan una serie de cráteres anidados en su cumbre que se originaron por erupciones explosivas posteriores que migraron nuevamente hacia el este acercándose al centro del actual edificio compuesto (Gardeweg et al. 1998). Es justamente en el cráter central en donde se centra la actividad más reciente del volcán Lászar.



Figura 2. Imagen Google Earth del volcán Lászar.

Se cree que luego de un largo período de tranquilidad, el volcán Lászar retomó su actividad volcánica a mediados del siglo XIX, sin embargo, su registro ha sido bastante inconstante hasta 1980. A partir de entonces, se ha registrado un comportamiento repetitivo en este volcán que inicia con la salida de lava viscosa formando una estructura en domo dentro del cráter y acompañado de una importante desgasificación, que finalmente culmina con su hundimiento y el desencadenamiento de erupciones explosivas que denominamos de tipo vulcanianas. Entender este proceso es clave para entender el comportamiento actual del volcán ya que, por lo general, este tipo de domos tienen la capacidad de obstruir el conducto por el cual la lava extruye a la superficie generando un gran aumento de presión que finalmente desencadenan erupciones explosivas de corta duración. Erupciones de este tipo fueron documentadas en septiembre de 1986, febrero de 1990 y diciembre de 1993.

Estos eventos fueron muy breves y las columnas eruptivas no superaron los 15 km de altitud.

Sin embargo, asociado al crecimiento y hundimiento de un domo volcánico, en abril de 1993, el inicio de una erupción de tipo vulcaniana dio paso a lo que denominamos una erupción sostenida de tipo subpliniana (ver [Guzmán y Montero, 2011: TBGNoa, Vol. 1 \(1\): 32-39](#)) que se caracteriza por inyectar grandes cantidades de material volcánico fragmentado a la atmósfera de manera continua y sostenida en el tiempo.

Particularmente la erupción de abril de 1993 duró aproximadamente 32 hs formando una gran columna eruptiva compuesta de partículas y gases que, por un breve tiempo, alcanzó una altitud máxima de 25 km sobre el nivel del mar pero que durante la mayor parte del tiempo fluctuó en torno a los 15 km de altitud. Por lo general, cuando las columnas eruptivas alcanzan un nivel en la atmósfera en donde su densidad es la misma que la atmósfera circundante, estas empiezan a moverse lateralmente en un nivel dentro de la atmósfera que conocemos como nivel de flotabilidad neutra (Figura 3). En este nivel el material suspendido toma la forma de una especie de gran hongo o paraguas que eventualmente queda sujeto al movimiento de los vientos atmosféricos que, finalmente, se encargarán de dispersar el material a grandes distancias.

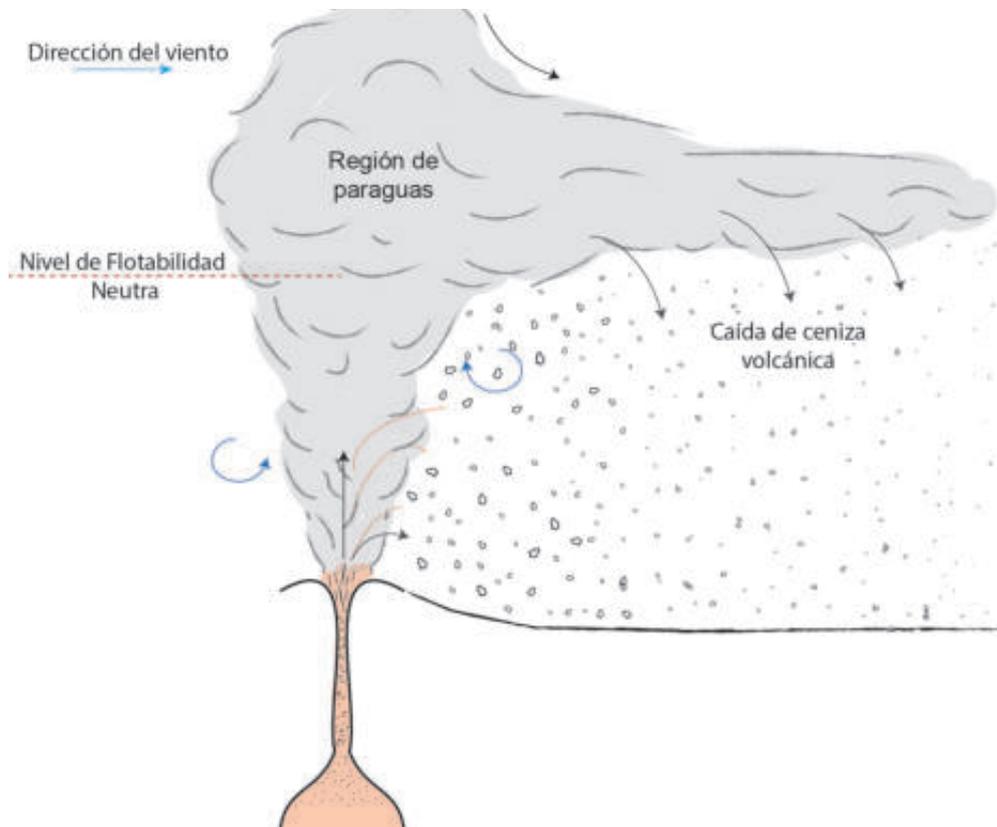


Figura 3. Columna eruptiva explosiva.

Algunos eventos explosivos menores ocurrieron en julio y noviembre de 1994, julio del 2000, mayo de 2005 y abril de 2006. Estos breves eventos formaron columnas eruptivas que no superaron los 10 km de altura sobre el cráter del volcán e inyectaron pequeñas cantidades de material a la atmósfera. Desde la erupción de diciembre de 1993, la actividad asociada al volcán Láscar se ha restringido principalmente a emisiones de gases y generación de plumas volcánicas, compuestas principalmente por vapor y, en menor medida, por partículas de ceniza volcánica, sin estar relacionadas al crecimiento de un domo volcánico.



Sin embargo, el 31 de enero de este año, casi 30 años después, la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV) dio a conocer, a través del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, el surgimiento de un nuevo domo volcánico, detectado mediante imágenes satelitales y que aún permanece intacto dentro del cráter (Figura 4).

Figura 4. Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV) del Servicio de Geología y Minería de Chile, 31 de enero de 2023, 15:00 hora local.

Actividad reciente

Luego de la erupción de abril de 1993, se estableció una red permanente de monitoreo que en la actualidad consta de estaciones sísmicas, cámaras de lapso de tiempo, instrumento de muestreo de gas, estaciones meteorológicas y sensores de temperatura. Previo a la instalación de esta red, el volcán ha sido y sigue siendo monitoreado mediante imágenes satelitales.

Como resultados de las actividades de monitoreo los observatorios vulcanológicos de Argentina y Chile emiten alertas con colores similares a los de un semáforo (Figura 5) que indican la magnitud del peligro potencial y las medidas de precaución que deben tomar las autoridades y la población.

A principios de diciembre de 2022, los equipos de monitoreo ubicados en el volcán registraron un aumento significativo en la sismicidad relacionada con la dinámica interna de fluidos volcánicos próximos a la superficie (REAV Región de Antofagasta, 26 de enero de 2023, 14:00, horario local). Como resultado, el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile elevó la alerta técnica del volcán a amarilla. Posteriormente, el 27 de enero de 2023, comenzaron a observarse señales sísmicas de mayor

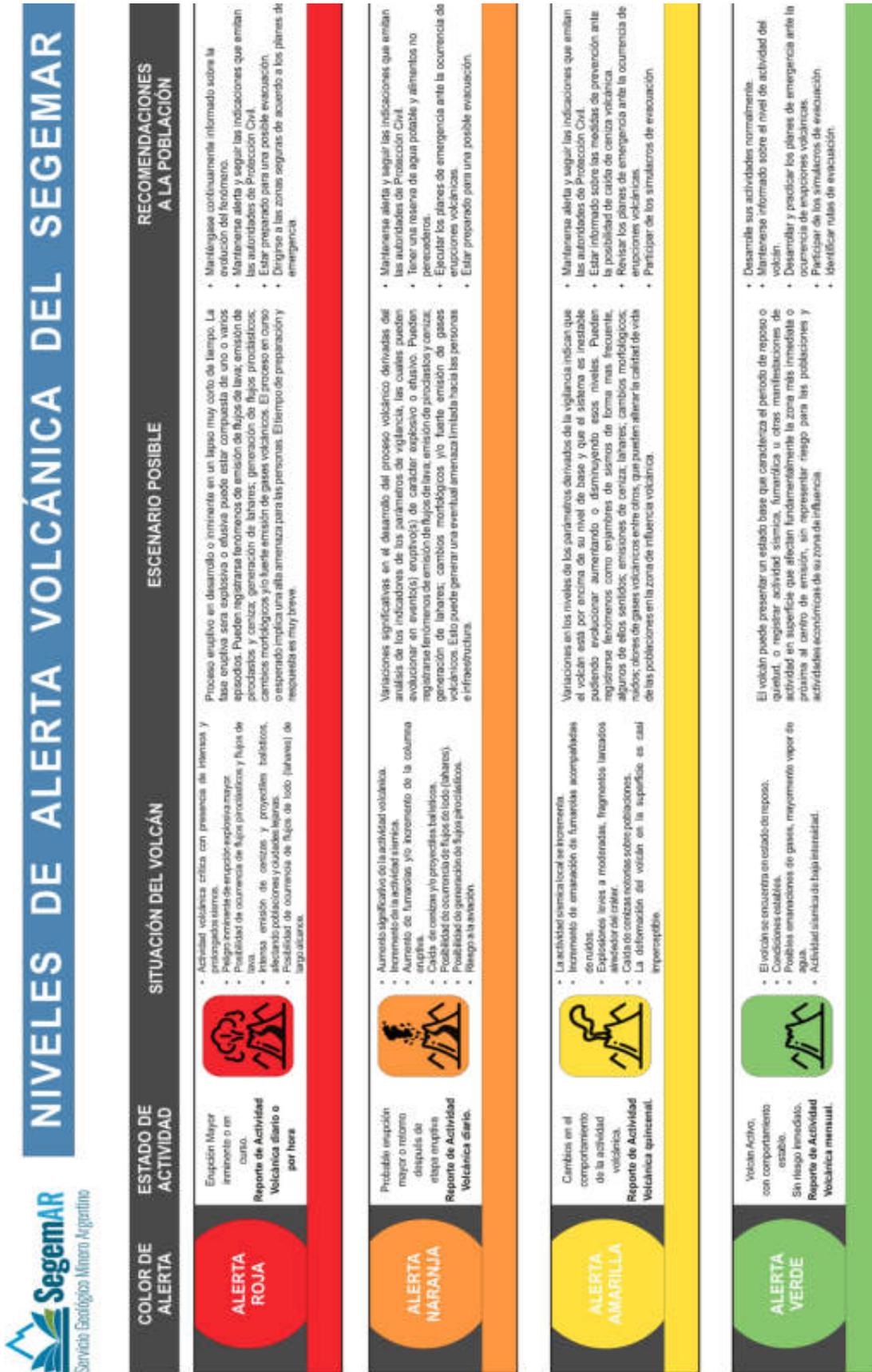


Figura 5. Niveles de alerta volcánica, los colores indican un aumento gradual del peligro donde el verde indica la menor peligrosidad y el rojo la máxima peligrosidad (tomado de <https://oavv.segemar.gov.ar/>).

magnitud y distintas a las que se habían registrado durante los últimos 10 años, lo que se asoció con la desestabilización de un cuerpo magmático posiblemente alojado en niveles superficiales del sistema volcánico (REAV Región de Antofagasta, 27 de enero de 2023, 23:52, horario local). Finalmente, el 28 de enero se elevó la alerta técnica a naranja (REAV Región de Antofagasta, 28 de enero de 2023, 04:30, horario local) y el 30 de enero, un satélite SKYSAT capturó una imagen del nuevo domo que todavía se encuentra acompañado de una importante actividad de desgasificación (REAV Región de Antofagasta, 31 de enero de 2023, 15:00, horario local, RAV Región de Antofagasta Año 2023 marzo - Volumen 46).

Implicancias de los eventos eruptivos en el territorio argentino

Una erupción volcánica explosiva puede tener múltiples implicancias para la sociedad. Puede significar un peligro para la vida ya que genera contaminación del aire, agua y suelo, y, además, afecta a las infraestructuras en regiones pobladas (ver [Montero, García y Guzmán, 2012. TBGNoa, Vol. 2 \(3\): 84-100](#)).

Las partículas de ceniza volcánica inyectadas a la atmósfera durante una erupción pueden significar un peligro significativo para la aviación provocando daños en los motores de las aeronaves y dificultando seriamente la visibilidad. A su vez, las partículas más finas pueden ser dispersadas a cientos o incluso miles de kilómetros afectando a ciudades alejadas del volcán y pudiendo provocar efectos negativos en la salud humana, como problemas respiratorios, irritación de los ojos y la piel, y otros problemas de salud (Wilson et al. 2012, Jenkins et al. 2015).

Por otra parte, las emisiones de gases y la ceniza volcánica pueden afectar la calidad del aire, el suelo y el agua afectando la biodiversidad y causando daños a los ecosistemas (Jenkins et al. 2015).

Además, las erupciones explosivas han demostrado que pueden provocar un impacto económico significativo. Las personas pueden verse obligadas a evacuar sus hogares y abandonar sus empleos, y la agricultura y la ganadería. Por otra parte, los costos asociados con la limpieza y la recuperación después de una erupción también pueden ser muy altos.

Particularmente, las erupciones explosivas del volcán Láscar pocas veces significaron un serio problema para la sociedad. Por lo general, estas erupciones tuvieron mayores implicancias para las localidades cercanas al volcán. Sin embargo, debido a la dirección predominante de los vientos, es común que la ceniza volcánica sea arrastrada hacia el territorio argentino como se documentó en las erupciones de septiembre de 1986, abril de 1993, julio de 1994, julio del 2000, mayo de 2005 y abril de 2006 (Global Volcanism Program 1986, 1993, 1994, 2000, 2005, 2006). Si bien la mayoría de estos eventos provocaron la caída de ceniza de muy pocos milímetros y no generaron problemas significativos,

el evento de abril de 1993 fue el más importante y el más ampliamente extendido.

La erupción de abril de 1993, generó una columna eruptiva que fue dispersada por los vientos hacia el sudeste, alcanzando el noroeste argentino, e incluso la costa atlántica a 1800 km desde el volcán (Figura 6) (Gardeweg y Medina 1994).

Aproximadamente 20.000 km² recibieron al menos 1 mm de cenizas, y más de 850.000 km², incluyendo partes del centro-norte de Argentina, sur de Paraguay, Uruguay y sur de Brasil, estaban cubiertas por un depósito delgado (<0,1 mm) de cenizas (Global Volcanism Program 1993).

Como consecuencia de la erupción de abril de 1993, en territorio argentino, provincias como Tucumán y Santiago del Estero tuvieron que interrumpir el tránsito (Figura 7). Por otra parte, en la provincia de Jujuy, según informó el Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy al diario Somos Jujuy, se suspendieron las clases, se recomendó el uso de barbijos a la población y que no circularan por las calles, similar a lo que ocurrió en otras provincias del noroeste argentino como Salta y Santiago del Estero.



Figura 7. Caída de ceniza volcánica en el centro de Santiago del Estero el 19 de abril de 1993 (fuente: diario Panorama).

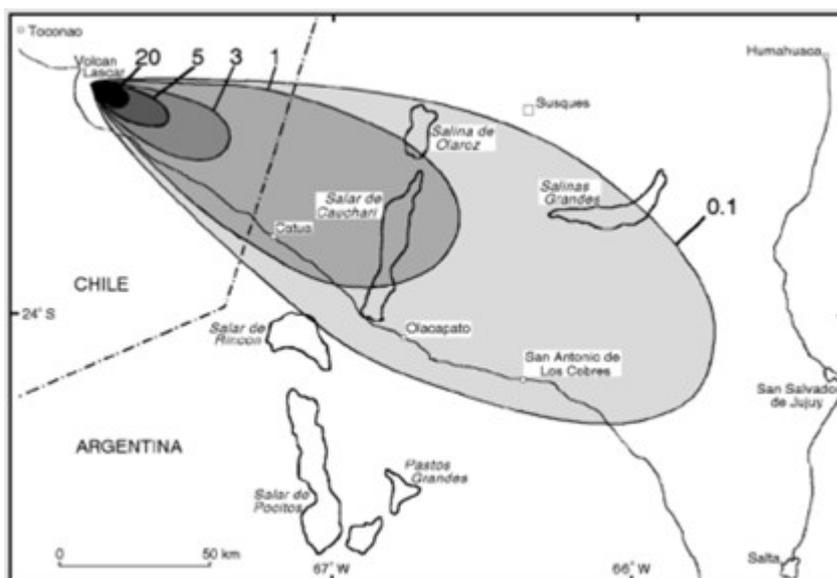


Figura 6. Dispersión de cenizas de la erupción del volcán Láscar de abril de 1993. Las líneas oscuras indican carga en el suelo de ceniza volcánica en centímetros (tomado del Global Volcanism Program, 1993).

En territorio chileno, el colapso parcial de la columna eruptiva generó corrientes de gas caliente, ceniza y rocas que descendieron rápidamente por las laderas del volcán. Si bien, la mayoría de estos flujos alcanzaron 4 km desde el cráter, algunos con dirección noroeste fueron canalizados y llegaron al pueblo de Tumbres, a unos 7,5 km del cráter, atravesando los manantiales que abastecen de agua al pueblo chileno de Talabre. Las 70 personas que vivían en Talabre y que se ganaban la vida como pastores de llamas y tejedores, fueron evacuadas al pueblo cercano de Toconao. Posteriormente en una campaña de muestreo de la vegetación se detectó un contenido anómalo de flúor en las hierbas de Tumbres que estaban cubiertas por ceniza.

Futuro escenario esperado

Según informa el Servicio de Geología y Minería de Chile a través de sus reportes oficiales, los potenciales impactos asociados a la presencia de un domo de lava en el interior del cráter activo se derivan por su eventual destrucción total o parcial, a través de un evento de características explosivas, que podría suceder al actual proceso de desgasificación.

En este escenario, es esperable una afectación principalmente local por lo que se definió un área de exclusión de 10 km alrededor del volcán. Según informa nuestro observatorio argentino, cualquier posibilidad de afectación por productos cercanos o sismicidad, no alcanzarían al territorio argentino, sin embargo, no descartan la afectación por caída de ceniza, lo cual se espera que podría ocurrir preferentemente hacia el este como consecuencia de la dispersión predominante del viento hacia nuestro territorio.

¿Qué hacer en caso de caída de ceniza volcánica?

Ante todo, es importante que estemos atentos a los medios oficiales. Podemos consultar información actualizada del estado del volcán en la página del OAVV (<https://oavv.segemar.gob.ar/>), pero es aún más importante prestar atención a las recomendaciones que emiten nuestros organismos de protección civil que son los encargados de prevenir y/o controlar eventuales situaciones derivadas de este fenómeno natural y los que en última instancia ejecutarán los planes de emergencia adecuados a cada situación.

Recientemente, el gobierno de la provincia de Salta emitió una serie de recomendaciones para actuar preventivamente y minimizar el impacto en la salud en caso de caída de ceniza volcánica:

- * Mantener la calma y seguir las indicaciones de las autoridades encargadas de la emergencia.
- * Informarse sobre la actividad del volcán solamente a través de los medios oficiales.
- * En el caso de caída de cenizas cerrar todo: puertas, ventanas y conductos de ventilación cubriendo con paños húmedos las pequeñas rendijas que puedan quedar.
- * Evitar salir y en caso de no tener opción, usar mascarilla o un paño húmedo para cubrir nariz y boca.
- * No realizar actividad física al aire libre y mantener a mascotas dentro de la casa.
- * Proteger especialmente a niños pequeños, ancianos, mujeres embarazadas y personas que sufren enfermedades respiratorias crónicas y cardíacas. Si percibe que estas personas tienen dificultades para respirar, acudir al centro de salud más cercano.
- * Cubrir los ojos, en lo posible con anteojos con protección lateral o antiparras. En caso de no contar con alguno de estos, usar anteojos de sol. Evitar el uso de lentes de contacto.
- * Mantener cubiertos los depósitos de agua, para evitar que se contaminen, en el caso de que el volcán emita ceniza.
- * Asegurar agua fresca y alimentos para animales en una zona protegida de la caída de cenizas. Generalmente los animales vuelven a la zona en la cual se alimentan normalmente.
- * Si estás manejando al momento del evento, evitá salir del auto. Mantener cerradas puertas y ventanas. Si podés avanzar, hazlo lentamente con las luces encendidas y dando prioridad a los vehículos de emergencia.

Es posible obtener más información a través del folleto oficial publicado en la página del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica: https://oavv.segemar.gob.ar/descargas/%C2%BFQu%C3%A9%20hacer%20en%20caso%20de%20ca%C3%ADda%20de%20ceniza%3F%20-%20OAVV_SEGEMAR.pdf

REFERENCIAS Y LITERATURA RECOMENDADA

GARDEWEG M, E MEDINA. 1994. La erupción subpliniana del 19–20 de Abril de 1993 del volcán Láscar, N de Chile. 7 Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 299-304.

GARDEWEG M, R SPARKS, S MATTHEWS. 1998. Evolution of Láscar Volcano, Northern Chile. *Journal of the Geological Society of London*, 155: 89–104.

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 1986. Report on Láscar (Chile). En McClelland, L. (Ed.), *Scientific Event Alert Network Bulletin*, 11: 8. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.SEAN198608-355100>

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 1993. Report on Láscar (Chile). En Venzke, E. (Ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 18: 4. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199304-355100>

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 1994. Report on Láscar (Chile). En Wunderman, R. (Ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 19: 7. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199407-355100>

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 2000. Report on Láscar (Chile). En Wunderman, R. (Ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 25: 6. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN200006-355100>

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 2005. Report on Láscar (Chile). En Wunderman, R. (Ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 30: 4. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN200504-355100>

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM. 2006. Report on Láscar (Chile). En Wunderman, R. (Ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 31:4. Smithsonian Institution. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN200604-355100>

GUZMÁN S, C MONTERO. 2011. Los volcanes de la Puna Austral. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1 (1): 32-39. <https://ibigeo.conicet.gov.ar/revista-tbgnoa/>

JENKINS S F, TM WILSON, C MAGILL, V MILLER, C STEWART, R BLONG, W MARZOCCHI, M BOULTON, C BONADONNA, A COSTA. 2015. Volcanic ash fall hazard and risk. *Global Volcanic Hazards and Risk*, Cambridge University Press: 173–222.

MONTERO C, V GARCÍA, S GUZMÁN, 2012. Desastres Naturales. ¿Se pueden predecir y prevenir los eventos geológicos destructivos? *Revista Temas de Biología y Geología del NOA*, 2 (3): 84-100. <https://ibigeo.conicet.gov.ar/revista-tbgnoa/>

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

| | |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teoría general de los sistemas | 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. |
| Teoría Gaia | 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 homeostasis ¹ . 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. |

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,

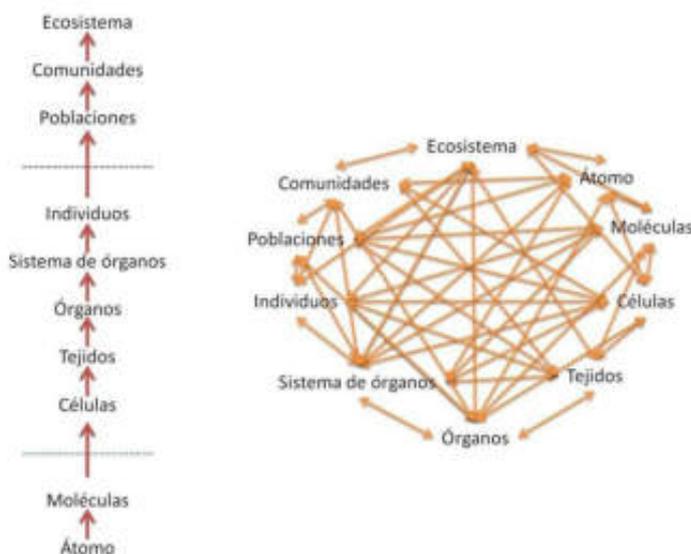


Figura 1. Niveles de organización. A la izquierda un esquema jerárquico tradicional. A la derecha una trama no jerárquica que considera las interacciones a diferentes “niveles”.

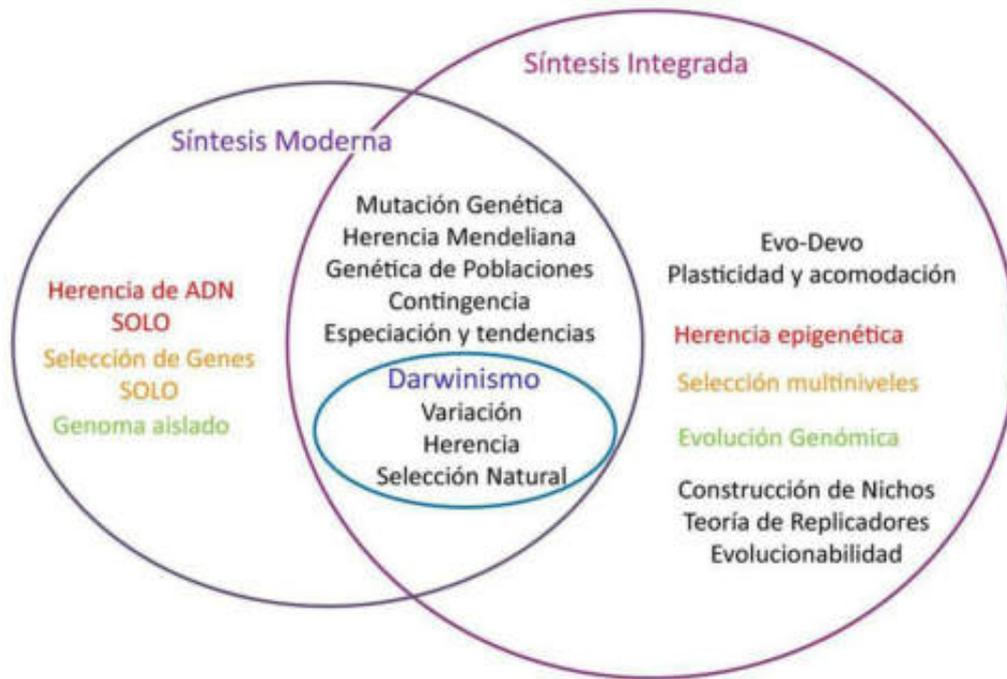


Figura 2. Este diagrama presenta las definiciones del darwinismo, la Teoría Sintética de la Evolución (TSE) (también conocida como Síntesis Moderna o neodarwinismo) y la Síntesis Integrada, y fue adaptado de Noble (2015), quien propone una síntesis integradora de la evolución que destaca la importancia 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.

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 13, Número 1, Abril 2023

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Tel: 54 (0) 387 4931755
ibigeotemas@gmail.com