



## ¿Cómo regulaban los dinosaurios su temperatura corporal?

### DESCRIPCIÓN GENERAL

Esta actividad profundiza en los conceptos presentados en el cortometraje *Grandes transiciones: el origen de las aves*. Los estudiantes analizan e interpretan datos de un estudio científico para explorar la termorregulación en animales actuales y extintos, incluyendo los dinosaurios.

La actividad reta a los estudiantes a utilizar los datos para investigar una pregunta que se plantea en el video: ¿Cómo regulaban los dinosaurios su temperatura corporal? Los estudiantes considerarán si la regulación de la temperatura corporal en los dinosaurios era más parecida a la de las aves (endotermos), los reptiles (ectotermos) o algún estado intermedio. En el proceso, aprenderán sobre los métodos utilizados para determinar los índices metabólicos de los animales y podrán analizar, interpretar y graficar los datos científicos.

Para encontrar información adicional relacionada a la pedagogía e implementación de este material, incluyendo la audiencia sugerida, el tiempo estimado de la clase y las conexiones curriculares, favor de visitar [la página web de este recurso](#).

### CONCEPTOS CLAVE

- El índice metabólico en reposo es la cantidad mínima de energía que un animal usa, en reposo, para mantener los procesos vitales.
- Debido a que el crecimiento es un resultado de la actividad metabólica, el índice metabólico en reposo está directamente relacionado al índice de crecimiento (cuánto un animal crece por unidad de tiempo). Mientras más alto sea el índice metabólico, más rápido tiende a ser el índice de crecimiento.
- Los animales varían de ectotérmicos a endotérmicos, según cómo mantengan y regulen la temperatura interna de su cuerpo. Los ectotermos tienen menores índices metabólicos y de crecimiento en reposo que los endotermos de tamaño similar.
- Los huesos fosilizados contienen información que se puede utilizar para calcular los índices metabólicos en reposo y los índices de crecimiento de los dinosaurios.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DEL ESTUDIANTE

- Analizar e interpretar los datos de una figura científica.
- Hacer afirmaciones basadas en evidencia derivada de datos científicos.
- Participar en un debate colaborativo de la evidencia con sus compañeros.

### CONOCIMIENTO PREVIO

Los estudiantes deben estar familiarizados con:

- conceptos básicos de ascendencia común
- principios de transformación y conservación de la energía, especialmente en lo que se refiere a la respiración celular
- la interpretación de gráficos con escalas logarítmicas

### CONSEJOS DIDÁCTICOS

- Los estudiantes pueden ver la película [Grandes transiciones: el origen de las aves](#) antes o después de comenzar esta actividad. Esta actividad también se puede llevar a cabo independientemente de la película. Si los estudiantes ven la película, pídeles que presten especial atención a cualquier mención del metabolismo o a las frases “de sangre caliente/fría”.

- Recomendamos explicarles a los estudiantes que los términos “de sangre caliente” y “de sangre fría” se han dejado de usar ya que sugieren que la sangre misma es caliente o fría, lo cual no es necesariamente correcto y puede causar confusión. Por ejemplo, una serpiente al sol podría, en ese momento, tener la sangre más caliente que la de un ser humano. Por esta razón, los científicos prefieren clasificar a los animales según su fuente de calor (“endotérmica” cuando se trata de fuentes internas y “ectotérmica” cuando son externas).
  - Además, los animales se pueden distinguir dependiendo de cuán estable mantienen su temperatura corporal interna. Los términos “homeotérmicos” (animales que mantienen una temperatura interna bastante constante), “poiquilotérmicos” (animales cuya temperatura interna puede variar ampliamente) y “heterotérmicos” (animales que pueden oscilar entre estrategias homeotérmicas y poiquilotérmicas de manera diaria o anual) no se utilizan en esta actividad, pero si los estudiantes ya los conocen, pueden ser útiles a la hora de discutir la termorregulación.
- La “Hoja de trabajo para el estudiante” contiene pasajes de lectura de alto nivel, que podrían ser un desafío para algunos estudiantes. Proporciona suficiente tiempo para leer y apoyo adicional, como por ejemplo un glosario, según sea necesario.
- Si los estudiantes necesitan tiempo adicional para repasar conceptos básicos, puedes indicarles que lean la Parte 1 y hacerles preguntas antes de comenzar la actividad.
- Puedes entregarles cada parte de la actividad por separado, ya que las últimas partes contienen las respuestas a preguntas que se encuentran en las primeras partes.
- Después de completar cada parte de la actividad, dirige una breve discusión con la clase acerca de las respuestas a cada pregunta. Esto facilita la transición de una parte a la próxima.
- Las Figuras 2 y 3 en la “Hoja de trabajo para el estudiante” usan color para distinguir entre ectotermos y endotermos. Si los documentos se imprimen en blanco y negro, puedes compartir las imágenes en color con los estudiantes en línea o mostrarlas con un proyector. Alternativamente, puedes decirles a los estudiantes cuáles animales son ectotermos/endotermos y dejar que los estudiantes los marquen en las figuras.
- Las Figuras 2 y 3 en la “Hoja de trabajo para el estudiante” usan gráficos log-log (con escalas logarítmicas en ambos ejes). Si los estudiantes no están familiarizados con la interpretación de tales gráficos, considera discutirlos en clase.
  - Para ayudar a los estudiantes a analizar el gráfico, podría ser útil tomar un par de puntos de datos y demostrar cómo estos fueron trazados. Por ejemplo, en la Figura 2, el austrobacalao esmeral tiene una masa de casi 180 gramos, por lo que su punto está ubicado en el eje x entre la línea 100 y la siguiente a la derecha, que representa el 200. Su índice metabólico es de 0.035, por lo que su ubicación en el eje y está ligeramente por encima de 0.03, es decir, dos líneas más arriba de la línea 0.01.
  - Si los estudiantes se sienten cómodos con los logaritmos, puede que desees explicar que estos gráficos son gráficos log-log, y que una relación lineal en un gráfico log-log es indicativa de una función de potencia. (En otras palabras, las líneas rectas en un gráfico log-log corresponden a líneas curvas cuando se trazan en una escala lineal). Por ejemplo, la relación lineal entre las tasas metabólicas y la masa en la Figura 2 indica que las tasas metabólicas aumentan como una función de potencia de la masa.
- Los rótulos en la Figura 3 de la “Hoja de trabajo para el estudiante” se refieren al índice metabólico y al índice de crecimiento después de eliminar la influencia de la masa corporal. Si fuera necesario, explícale a los estudiantes que se realizó una simple operación matemática para eliminar el efecto de la masa y así hacer más aparente la relación entre estos índices en animales ectotérmicos, endotérmicos y mesotérmicos, sea cual fuere su tamaño (masa) corporal. Si los estudiantes dominan las funciones de potencia y el análisis dimensional, podrías dar una explicación más detallada sobre cómo se derivaron las unidades graficadas, de la siguiente manera:

- El índice de crecimiento se puede medir en gramos por día (g/d). El índice metabólico se puede medir en joules por segundo, lo que equivale a vatios (W).
- Los índices metabólicos y de crecimiento se aproximan a la masa<sup>3/4</sup>. La masa se puede medir en gramos (g).
- Para obtener los índices independientes de la masa, que eliminan los efectos de la masa, divide las unidades de cada índice por la unidad de masa<sup>3/4</sup> (g<sup>3/4</sup>). Por consiguiente:
  - La unidad para el índice metabólico independiente de masa es  $W/g^{3/4} = Wg^{-3/4}$
  - La unidad para el índice de crecimiento independiente de masa es  $(g/d)/(g^{3/4}) = g^{(4/4-3/4)}/d = g^{1/4}/d = g^{1/4}d^{-1}$ .
- La pregunta 5 en la Parte 4 de la “Hoja de trabajo para el estudiante” menciona que otro científico reanalizó los datos y llegó a una conclusión alternativa. Discute con los estudiantes que estos debates son comunes en la comunidad científica, especialmente en nuevas áreas de investigación. A medida que se realizan más estudios y más científicos evalúan la evidencia, con frecuencia se llega a un consenso científico.
  - El argumento principal del científico que volvió a analizar los datos, Michael D’Emic de Stony Brook University, es que debido a que los dinosaurios mostraban un crecimiento estacional, los cálculos del índice de crecimiento que determinaron el Dr. Grady y sus colegas deberían duplicarse. Los cálculos de D’Emic y sus colegas sugieren que los dinosaurios eran endotermos en lugar de mesotermos ([D’Emic 2015](#)).
  - En su respuesta, Grady y sus colegas sostuvieron que los dinosaurios no avianos eran mesotermos. Ellos señalaron que la mayoría de los animales también muestran un crecimiento estacional, por lo tanto, “si siguiéramos su recomendación y duplicáramos los índices para reflejar el crecimiento discontinuo, tendríamos que hacerlo para todos los grupos en nuestro análisis, lo que no llevaría a ningún cambio en los resultados generales.” ([Grady et al. 2015](#)).

## RESPUESTAS PARA LA HOJA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

### PARTE 1: La termorregulación animal

1. ¿Esperarías observar diferencias entre las temperaturas de estos animales y las de su entorno? ¿Sería tu respuesta la misma para todos los animales? ¿Por qué sí o por qué no?

*Esta es una pregunta de prelectura que ayuda a los estudiantes a anticipar el resto de la Parte 1. Dado que esta pregunta inicial sirve para que el estudiante comparta sus ideas previas, es importante estar abierto a una variedad de respuestas. Es posible que algunos estudiantes ya sepan que los ectotermos en las fotografías tendrán temperaturas internas similares al entorno, mientras que los endotermos podrían tener temperaturas internas que difieren significativamente de las temperaturas externas.*

2. Define “endotérmico” y “ectotérmico” en tus propias palabras. Enumera cuatro ejemplos de animales que encajarían en cada categoría.

*Las definiciones en la lectura son: “La temperatura corporal de los animales ectotérmicos está principalmente determinada por el entorno exterior, mientras que los endotermos dependen del calor generado en el interior de sus cuerpos para regular la temperatura”. Los estudiantes deberían dar respuestas similares con sus propias palabras. Es importante estar abierto a una variedad de respuestas, ya que la lectura no ha proporcionado una agrupación definitiva aún. Más adelante el texto menciona que “Los anfibios y la mayoría de los reptiles, los peces y los invertebrados son ectotermos, mientras que los mamíferos y las aves son endotermos”.*

- Según un principio científico importante llamado la ley de conservación de la energía (o la segunda ley de la termodinámica), la energía no se puede crear ni destruir. Sin embargo, la energía sí puede transformarse. Resume algunas de las transformaciones de energía descritas en los dos párrafos anteriores.

*Algunas de las transformaciones de energía mencionadas son la energía química en los alimentos que se convierte en calor y se utiliza para realizar actividades, como moverse, crecer o reproducirse. La energía también se transforma cuando los organismos tiemblan, ya que los músculos se contraen rápidamente y se libera calor.*

- ¿Crees que los dinosaurios eran más parecidos a los endotermos o a los ectotermos? Respaldar tu respuesta con evidencia de los párrafos anteriores y con tus conocimientos previos.

*Las respuestas de los estudiantes pueden variar, mantente abierto a una variedad de respuestas lógicas. Esta pregunta pretende recoger ideas previas de los estudiantes y motivarlos a continuar con la actividad.*

## PARTE 2: La masa y el metabolismo animal

- Observa las tendencias generales en la Figura 2:

- ¿Cómo se comparan los índices metabólicos de los endotermos con los de los ectotermos de masa similar?

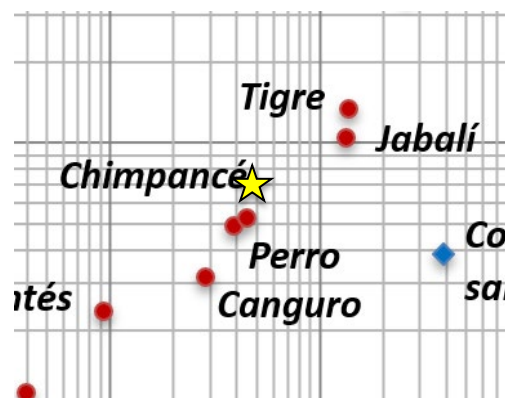
*Los estudiantes deben tener en cuenta que en una masa determinada, los índices metabólicos de los endotermos son más altos que los de los ectotermos.*

- ¿Cómo varían los índices metabólicos de los ectotermos y los endotermos con la masa?

*Tanto entre los ectotermos como entre los endotermos, los animales con mayor masa tienden a tener índices metabólicos de reposo más altos.*

- Un guepardo adulto promedio tiene una masa metabólica de 44,010 gramos y un índice metabólico de 61.77 joules por segundo. Usa esta información para ubicar al guepardo en la Figura 2. Según estos datos, ¿calificarías al guepardo como endotermo o ectotermo? ¿Por qué? Respaldar tu respuesta con la evidencia presentada en el gráfico.

*Los estudiantes deben trazar el punto del guepardo ligeramente por encima de los del chimpancé y el perro, donde está la estrella azul en el gráfico a la derecha. Deberían concluir que el guepardo es un endotermo porque su ubicación en el gráfico está al nivel de los endotermos, no de los ectotermos.*



- Describe brevemente los datos que podrías recopilar para obtener evidencia adicional que respalde la clasificación del guepardo como un ectotermo o un endotermo.

*Las respuestas de los estudiantes pueden variar. Podrían sugerir que los datos adicionales que respaldarían la ubicación del guepardo como un endotermo podrían venir de la medición de la temperatura interna de un guepardo en un rango de temperaturas externas. Si la temperatura interna del guepardo se mantuviera relativamente constante, la evidencia respaldaría la clasificación del guepardo como un endotermo.*

- A medida que la masa de los animales aumenta, ¿cómo cambian sus índices metabólicos? Contesta esta pregunta para los ectotermos y los endotermos.

*Tanto para los endotermos como para los ectotermos, hay una tendencia hacia el aumento del índice metabólico con el aumento de la masa. (Los estudiantes podrían notar que la correlación en los ectotermos no es tan clara como en los endotermos.)*

- Haz una afirmación sobre cómo los índices metabólicos de los endotermos se comparan con los de los ectotermos, si compararas animales de masa similar. Respaldar tu afirmación con al menos tres puntos de datos de la Figura 2.

*Las respuestas de los estudiantes serán variadas. Una afirmación razonable es que en una masa determinada, un endoterio tiene un índice metabólico mucho más alto que un ectoterio. Se podrían utilizar varios puntos de datos en la Figura 2 para respaldar esta afirmación. Por ejemplo, una perdiz (endoterio) y un monstruo de Gila (ectoterio) tienen aproximadamente la misma masa, pero el índice metabólico de la perdiz es más de 100 veces mayor. Otros pares de animales que respaldan esta afirmación son los pitones o los caimanes (ectoterios) en comparación con los cuervos (endoterios); los tiburones trozo (ectoterios) en comparación con los conejos (endoterios); y los cocodrilos de agua salada (ectoterios) en comparación con los caballos (endoterios).*

6. ¿Qué tipos de evidencia crees que podrías recopilar de los fósiles para ayudarte a determinar si los dinosaurios eran ectoterios o endoterios?

*Esta pregunta de prelectura sirve como preparación para la Parte 3, y también recalca que en la práctica científica se utiliza la mejor evidencia disponible para realizar inferencias, ya que algunos fenómenos no pueden ser observados directamente. Como esta pregunta busca las ideas iniciales de los estudiantes, cualquier respuesta lógica de los estudiantes es válida. Los estudiantes podrían sugerir alguna manera de usar los fósiles para calcular la masa o el índice metabólico de los dinosaurios. Estos cálculos se pueden comparar con los datos obtenidos de animales actuales, como los mostrados en la Figura 2, para determinar si los dinosaurios son más parecidos a los endoterios a los ectoterios.*

### PARTE 3: Cálculo de la masa y el metabolismo de los dinosaurios

1. Resume la evidencia usada para calcular la masa y el índice metabólico de los dinosaurios.

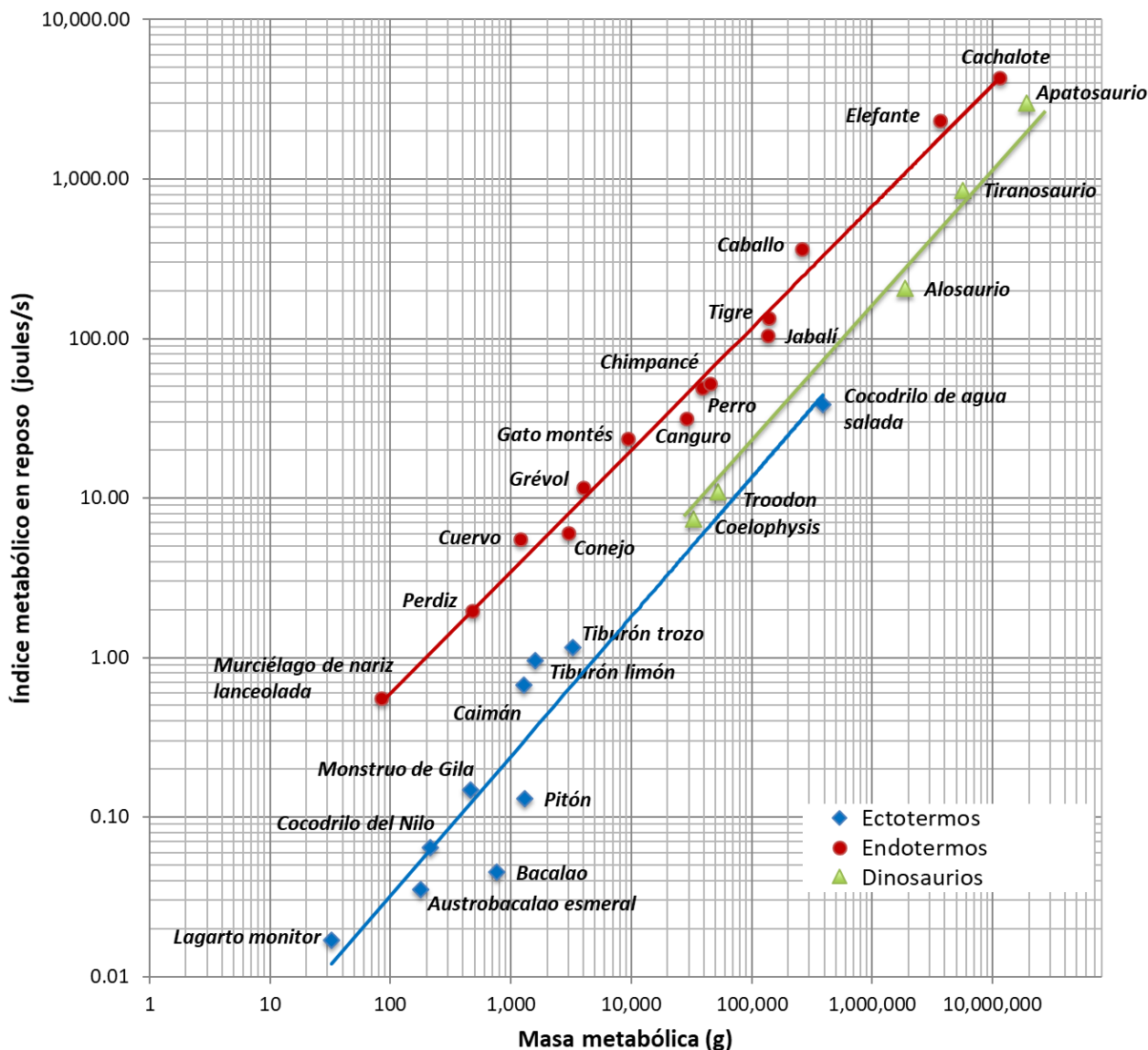
*El tamaño de los huesos se utiliza para calcular la masa general de un dinosaurio. El ancho de los anillos de crecimiento se utiliza para calcular el índice de crecimiento de un dinosaurio, lo que se puede utilizar para calcular el índice metabólico.*

2. Explica por qué un ratón (un endoterio) probablemente tendría anillos óseos más anchos que una lagartija (un ectoterio) de tamaño similar.

*Debido a que los ratones son endoterios, probablemente tienen un índice metabólico más rápido, y por consiguiente un índice de crecimiento más rápido que una lagartija (un ectoterio de tamaño similar). Si el ratón tiene un índice de crecimiento más rápido, sus huesos sumarán relativamente más hueso durante el transcurso de un año. Como resultado, el ratón tiene anillos de crecimiento más anchos en sus huesos.*

Traza los datos de la Tabla 2 en el gráfico de la Figura 2 y termina de responder las preguntas.

*El siguiente gráfico muestra los datos de la Tabla 2 ("Dinosaurios") como triángulos verdes. También se muestran las líneas de mejor ajuste para los endoterios, ectoterios y dinosaurios.*



3. A medida que las masas de los dinosaurios aumentan, ¿cómo cambian sus índices metabólicos? ¿Cómo se compara esto con los animales actuales?

*Los estudiantes deberían observar que al igual que con los animales actuales, cuanto mayor sea la masa de un dinosaurio, más alto será su índice metabólico.*

4. Realiza una afirmación sobre si la relación entre la masa y el índice metabólico en los dinosaurios sigue un patrón más similar a los ectotermos o a los endotermos. Respalda tu respuesta con evidencia del gráfico.

*Las respuestas de los estudiantes pueden variar porque el patrón de los datos de los dinosaurios no concuerda exactamente con los datos de los ectotermos ni de los endotermos. El gráfico muestra que los índices metabólicos en los dinosaurios no son tan altos como los de los endotermos de masa similar, pero son un poco más altos que los de los ectotermos de masa similar.*

5. Según este gráfico, ¿qué animal esperarías que tenga anillos más anchos en sus huesos: un puma o un tipo de dinosaurio llamado Troodon? (El Troodon tenía aproximadamente la misma masa que el puma y se parecía a un velociraptor con plumas). Explica tu respuesta.

*Los estudiantes deberían responder que el puma deberá tener anillos óseos más anchos porque tiene un índice metabólico más alto que el Troodon.*

**PARTE 4: La energética de los dinosaurios**

1. ¿Qué tipo de animal tiene el índice de **crecimiento** en reposo más alto, una vez que se elimina el efecto de la masa? ¿Y el más bajo?  
*Más alto: endotermos; más bajo: ectotermos*
2. ¿Qué tipo de animal tiene el índice **metabólico** en reposo más alto, una vez que se elimina el efecto de la masa? ¿Y el más bajo?  
*Más alto: endotermos; más bajo: ectotermos*
3. En general, a medida que aumenta el índice metabólico en reposo, ¿cómo cambia el índice de crecimiento?  
*A medida que aumenta el índice metabólico en reposo, el índice de crecimiento aumenta. Cuanto más altos sean los índices metabólicos, más rápido podrán crecer los animales.*
4. Compara los índices de crecimiento de los dinosaurios con los de los ectotermos y los endotermos actuales. ¿Por qué crees que estos científicos describen a los dinosaurios como “mesotermos”? ¿Estás de acuerdo con su conclusión? Usa la evidencia mostrada en la Figura 3 para respaldar tu respuesta  
*Las respuestas de los estudiantes pueden variar. Los estudiantes deberían decir que los índices metabólicos y de crecimiento de los dinosaurios eran más altos que los de los ectotermos actuales, pero más bajos que los de los endotermos actuales. Deberían relacionar el prefijo meso- y su significado (“medio”) con la idea de que los dinosaurios tenían índices metabólicos y de crecimiento entre medio de los ectotermos y los endotermos.*
5. Describe cómo estos sucesos ejemplifican la forma en que funciona la ciencia.  
*Las respuestas de los estudiantes pueden variar. Los estudiantes deberían identificar la práctica científica de hacer públicos los datos y los métodos de análisis para que otros científicos los revisen, con la posibilidad de que haya afirmaciones alternativas que puedan realizarse con base en la misma evidencia, que podrían apoyar o poner a prueba las afirmaciones científicas previas.*

**PARTE 5: Termorregulación en los dinosaurios**

1. ¿Qué ventaja habría significado para los dinosaurios ser mesotérmicos, en comparación con ser ectotérmicos o endotérmicos?  
*Esta pregunta les pide a los estudiantes que consideren las posibles ventajas de ser un mesotermo. Las respuestas serán variadas. Por ejemplo: si los dinosaurios eran mesotermos, podían crecer y moverse más rápido que los ectotermos de similar tamaño, pero necesitar menos energía (es decir, menos alimentos) que los endotermos de similar tamaño.*
2. Actualmente, los mesotermos son menos comunes. Si ser mesotérmico supuso una ventaja para los dinosaurios, ¿por qué piensas que no hay muchos más animales mesotermos en la actualidad?  
*Esta pregunta está diseñada para ayudar a los estudiantes a considerar los costos de ser mesotérmicos y no solo las ventajas. Algunos posibles costos son que los endotermos de similar tamaño podrían superar a los mesotermos en conseguir presas en nichos similares. También podrían necesitar más fuentes adicionales de energía en comparación con los ectotermos, lo que los pondría en una desventaja competitiva si la energía fuera un factor limitante del crecimiento.*
3. Hay mucha evidencia que respalda la idea de que las aves evolucionaron de los dinosaurios terópodos. ¿Cómo suman los datos en esta actividad a tu comprensión de la relación entre los dinosaurios y las aves?  
*Las respuestas de los estudiantes pueden variar. Si vieron la película [Grandes transiciones: el origen de las aves](#), podrían mencionar la parte en la película donde los científicos pensaban inicialmente que los dinosaurios eran “de sangre fría y lentos en movimiento”, como los reptiles y otros ectotermos. Los datos en esta actividad muestran que los dinosaurios tenían rasgos intermedios entre los ectotermos y los endotermos, por lo que*

*eran más similares a las aves de lo que pensaban inicialmente los científicos. Esto podría sugerir que los rasgos más parecidos a los endotermos, como la capacidad de las aves para controlar su temperatura corporal interna, hayan comenzado a evolucionar en los dinosaurios, tal como parecen haberlo hecho las plumas y otras características avianas.*

## REFERENCIAS

D’Emic, M. D. “Comment on ‘Evidence for mesothermy in dinosaurs.’” *Science* 348, 6238 (2015): 928.

<https://doi.org/10.1126/science.1260061>.

Grady, John M., Brian J. Enquist, Eva Dettweiler-Robinson, Natalie A. Wright, and Felisa A. Smith. “Evidence for Mesothermy in Dinosaurs.” *Science* 344, 6189 (2014): 1268–1272. <https://doi.org/10.1126/science.1253143>.

## CRÉDITOS

Escrito por Mark Bloom, Anne Westbrook, BSCS; Laura Bonetta, Sandra Blumenrath, HHMI

Editado por Paul Beardsley, Cal Poly Ponomo, CA; Esther Shyu, HHMI

Revisión científica por John Grady, University of New Mexico, NM

Créditos de las imágenes:

- Figura 1: Piotr Naskrecki, Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, MA
- Figura 4: [“Leatherback sea turtle”](#) by U.S. Fish and Wildlife Service, used under CC BY; [“Great White Shark”](#) by Elias Levy, used under CC BY; [“Pacific bluefin tuna”](#) by aes256, used under CC BY
- El restante de las figuras fueron tomadas de [Grady et al. \(2014\)](#) o son trabajo original.

Traducido al español por la compañía de traducción Ubiquis USA; y editado por Jamillah Echeverria, Vialux Media; Javier Robalino y Zulmarie Pérez Horta, HHMI.