



UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE CHILE



*JUAN CARLOS BEAMIN*

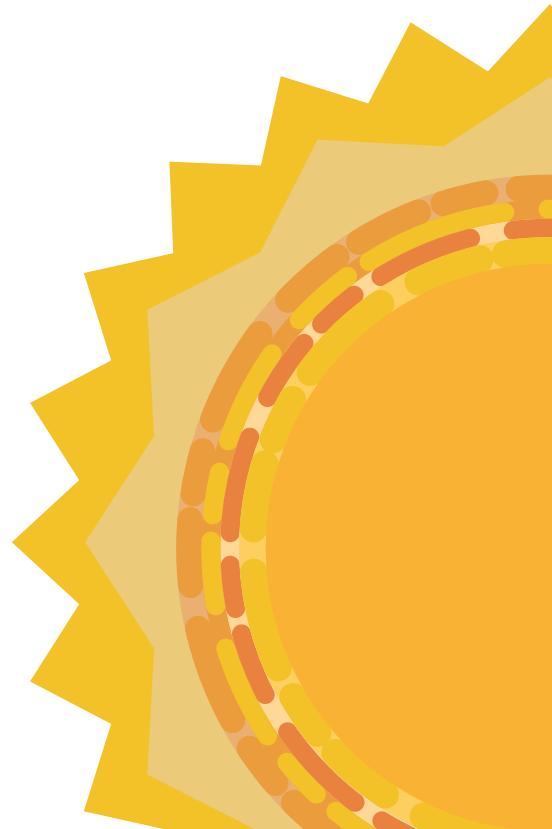
# ***ASTRONOMÍA ILUSTRADA***

***SOL***

***TIERRA***

***LUNA***

***ECLIPSES***





*JUAN CARLOS BEAMIN*

# ***ASTRONOMÍA ILUSTRADA***

***SOL***

***TIERRA***

***LUNA***

***ECLIPSES***



**ASTRONOMÍA ILUSTRADA**  
**Sol · Tierra · Luna · Eclipses**

Primera edición. Junio 2019  
Santiago, Chile.

©Universidad Autónoma de Chile.  
Centro de Comunicación de las Ciencias  
[www.ciencias.uautonoma.cl](http://www.ciencias.uautonoma.cl)

**Autor:** Dr. Juan Carlos Beamin  
**Dirección editorial:** Isidora Sesnic  
**Ilustraciones:** José Utreras (@planeta\_errante)  
**Ilustraciones capítulo VII:** Camila Benavente  
**Edición:** Lyuba Yez  
**Diseño y diagramación:** María Kaulen

ISBN: 978-956-8454-34-0  
Registro de propiedad intelectual: 304058



Este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos y solo para fines educativos y de divulgación científica. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.



Centro de Comunicación  
de las **Ciencias**  
Universidad Autónoma de Chile

*Dedicado a mi padre, Juan Carlos Beamin Anguita, quien, durante la noche, me enseñó a maravillarme con las estrellas, satélites y la idea de formar nuevas constelaciones. Sin esas horas de contemplación este libro no habría sido posible.*



# INDICE

<b>¿CÓMO LLEGAMOS HASTA EL DÍA DE HOY? UNA BREVÍSIMA HISTORIA DEL UNIVERSO</b>	<b>9</b>
<b>I. EL SOL</b>	<b>19</b>
<b>II. LA TIERRA</b>	<b>39</b>
<b>III. LA LUNA</b>	<b>53</b>
<b>IV. ECLIPSES</b>	<b>63</b>
<b>V. OTRAS FORMAS DE ECLIPSES: TRÁNSITOS Y OCULTACIONES</b>	<b>79</b>
<b>VI. LOS ECLIPSES EN OTRAS COSMOVISIONES</b>	<b>87</b>
<b>VII. ECLIPSES EN CHILE: 2019 Y 2020</b>	<b>94</b>
<b>VIII. OBSERVANDO ECLIPSES DE FORMA SEGURA</b>	<b>96</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>100</b>

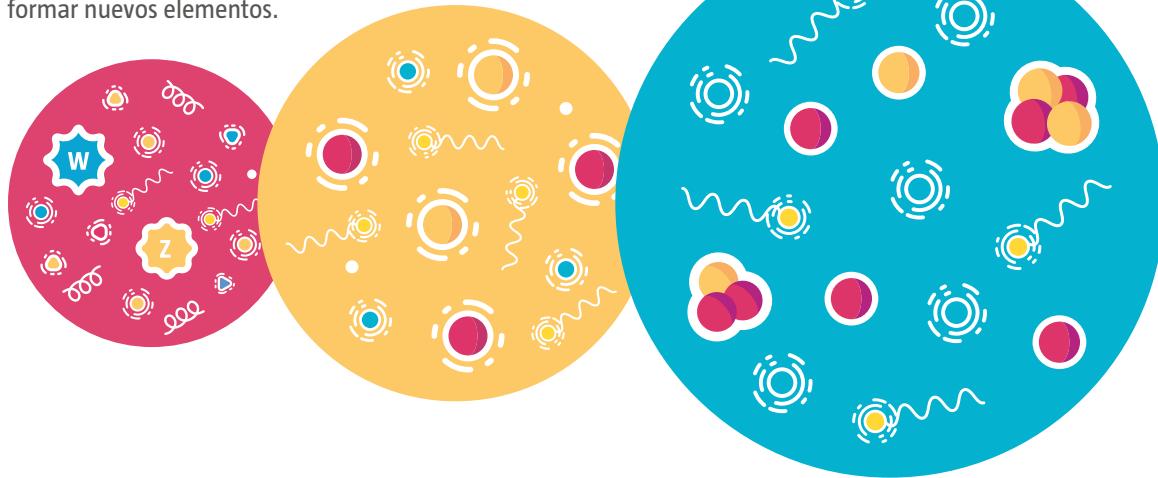


## ¿CÓMO LLEGAMOS HASTA EL DÍA DE HOY? Una brevísima historia del universo

Nuestro universo nació hace unos 13 700 millones de años. Durante los primeros instantes no existió materia, tampoco átomos y, de cierta forma, toda la energía y las fuerzas de gravedad y eléctrica estaban unidas. Después, en cosa de minutos, se formaron las primeras partículas.

Es casi increíble pensar que en ese momento toda la materia del universo estaba compuesta por hidrógeno (75%), helio (25%) y una diminuta cantidad de litio (menos del 0.001%)<sup>1</sup>, y que había una temperatura de cientos de millones de grados Celsius.

Desde ese momento y por los próximos 380 000 años, el universo solo siguió creciendo y enfriándose, pero sin formar nuevos elementos.



En sus primeros instantes, el universo estuvo dominado por partículas diferentes a las que conocemos.

Durante el primer segundo, la antimateria y la materia se aniquilan. La creación y destrucción de protones y neutrones se detiene.

En este breve período los protones y neutrones forman núcleos de otros átomos como el helio.

### ¿SABÍAS QUE...

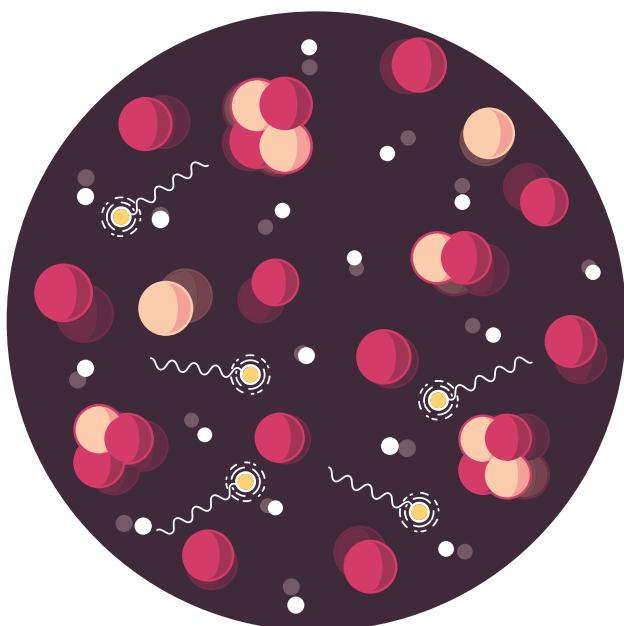
La antimateria se parece mucho a la materia ordinaria. En general, poseen la misma masa, pero difieren en el signo de la carga eléctrica. Por ejemplo, un electrón y un positrón (o antielectrón) tienen cargas eléctricas opuestas. Cuando la materia y antimateria se encuentran, se aniquilan, generando una gran cantidad de energía.

1 · También se formó una pequeña cantidad de berilio-7, pero al ser radioactivo terminó descomponiéndose en helio y litio.

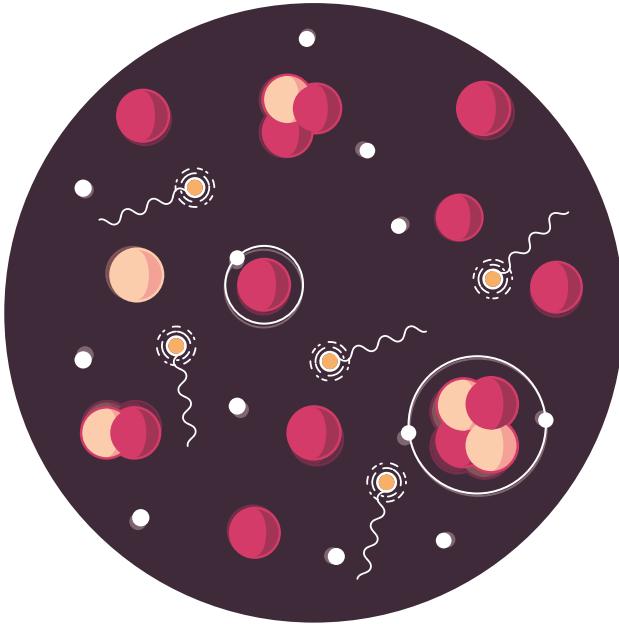
En un principio, la materia formada y la luz parecían atrapadas. Esta última chocaba con la primera, sin poder viajar libremente como lo hace ahora. El cosmos temprano era tan denso y caliente que los electrones no podían mantenerse unidos a los núcleos de los átomos. Sin embargo, gracias a la constante expansión del universo y al descenso de la temperatura (alrededor de unos 3000 °C), los electrones comenzaron a quedarse junto a sus núcleos, lo que provocó que la luz dejara de chocar y escapara. A esta etapa se le conoce como **Recombinación**

o **Superficie de la última dispersión**, pues los átomos se mezclan y, desde ese instante (380 000 años después del Big Bang), la luz puede viajar libremente por el universo.

La luz que detectamos hoy, y que vemos gracias a los telescopios de microondas, ha viajado 13 700 millones de años y se ha ido “enfriando” junto con el universo, que ha alcanzado una temperatura de tan solo 2.7 K (-271 °C).

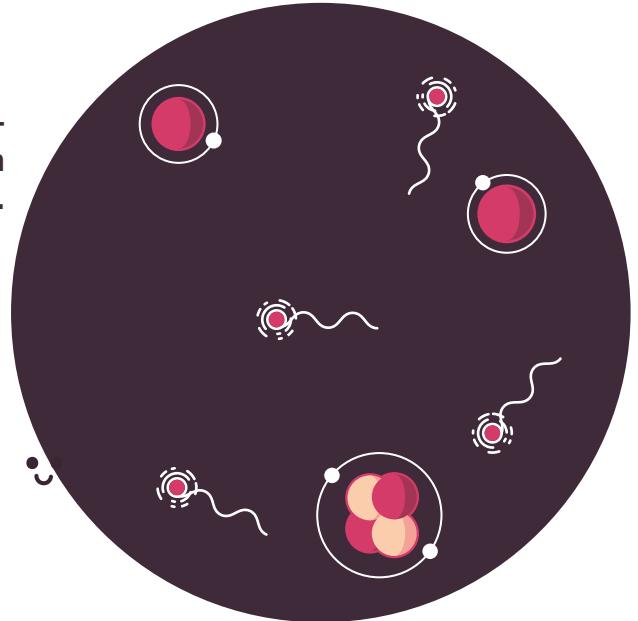


**Los electrones no están ligados a los núcleos atómicos y los fotones chocan continuamente con electrones e iones.**

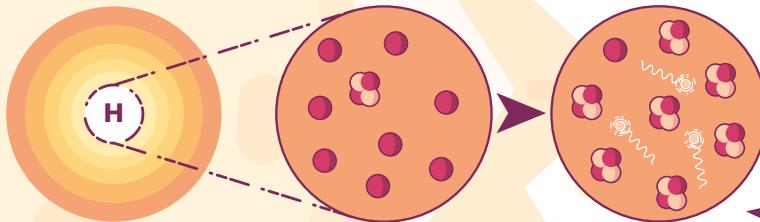


**El universo se enfría. Los electrones comienzan a unirse a los núcleos y los fotones pierden energía.**

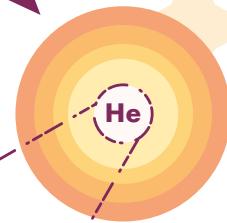
**El universo es neutro y los fotones no tienen suficiente energía para interactuar con los átomos. Los fotones viajan libres al fin.**



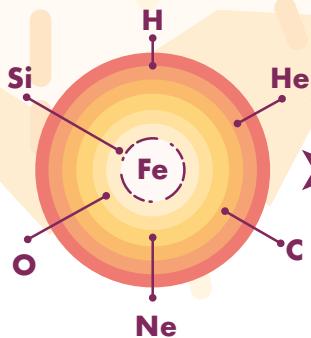
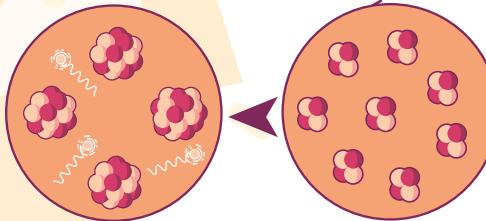
En el núcleo, el hidrógeno se fusiona, forma helio y libera energía.



En las estrellas más grandes, se puede fusionar el helio para crear átomos como el carbono y el oxígeno.

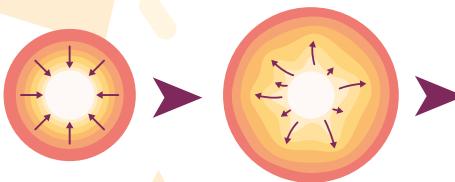


Una vez que se forma el hierro, la fusión en el núcleo ya no libera energía porque la necesita para formar otros elementos.



En este punto, la estrella contiene capas dominadas por distintos elementos.

Debido a la falta de energía, la estrella colapsa sobre su núcleo y rebota sobre él. La compresión acelera las reacciones que liberan energía.



La energía producida durante el colapso hace que la estrella explote.



Cuando la luz por fin pudo escapar, no existían ni planetas ni galaxias, y hubo que esperar otros 200 millones de años antes que se formaran las primeras estrellas. Durante todo ese tiempo, el universo fue completamente oscuro, como una densa niebla nocturna.

Es muy posible que las primeras estrellas que se formaron hayan sido mucho más calientes, grandes y brillantes que nuestro Sol. Para poder brillar necesitaban combustible y usaron el hidrógeno y el helio. Al fusionarse estos iban creando nuevos elementos más complejos, como el carbono, el nitrógeno, el oxígeno y el fierro, a la vez que se liberaba energía y luz al resto del universo. Estas estrellas tuvieron vidas muy cortas y al morir sufrieron fuertes explosiones fenomenales, conocidas como **supernovas**. De esta manera expulsaron al cosmos los nuevos materiales que habían formado y permitieron que las futuras generaciones de estrellas tuvieran acceso a pequeñas cantidades de ellos.

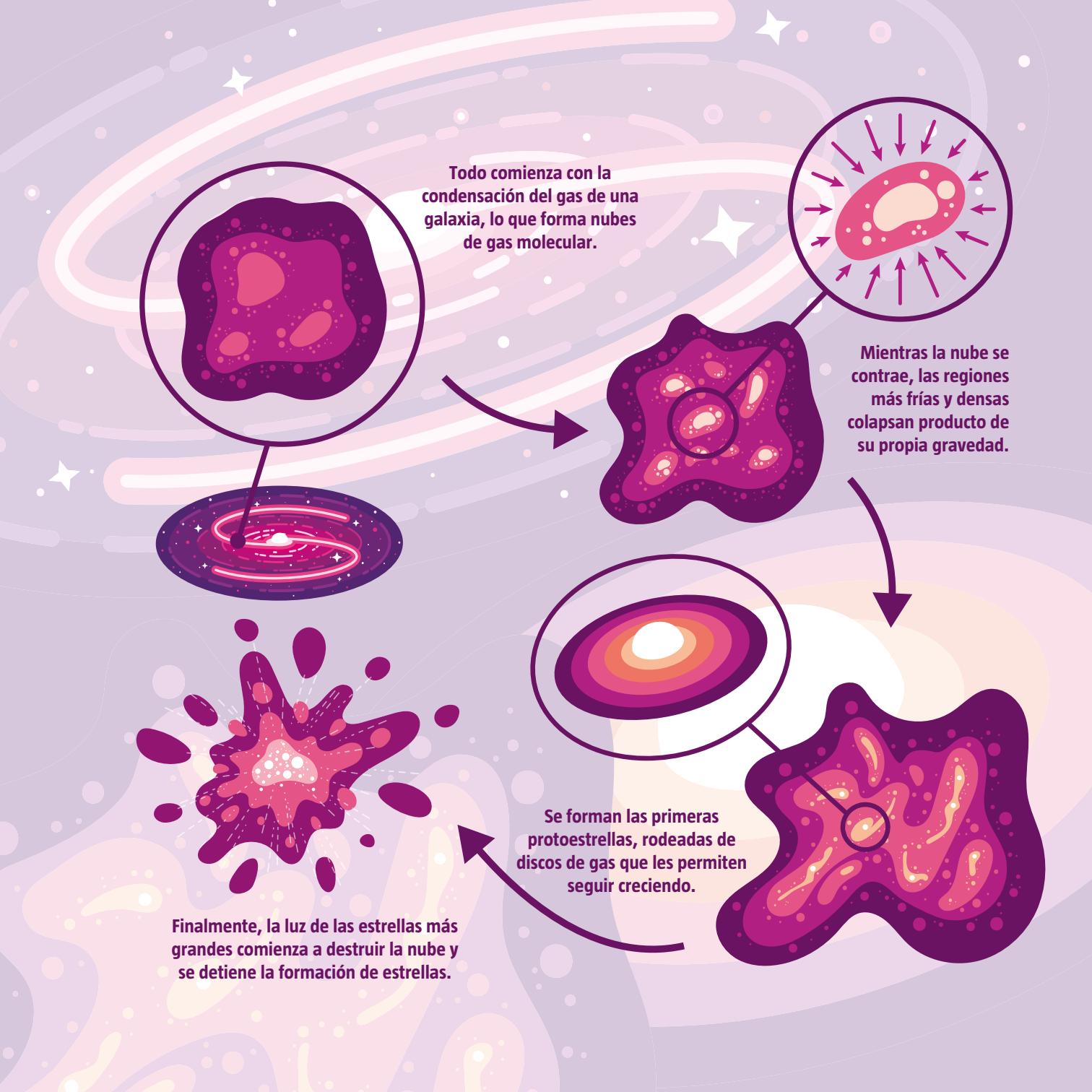
Poco a poco, el oscuro universo comenzó a iluminarse. Doscientos millones de años después aparecieron las primeras galaxias y desde entonces se inicia una nueva transformación: la gran cantidad de luz producida por las estrellas hace que, en los átomos de hidrógeno, los electrones se separen y el universo vuelva a estar ionizado (como al principio) y así se encuentra hasta hoy.

Siguiendo adelante en el tiempo, el universo continúa expandiéndose, se forman nuevas galaxias y estrellas, algunas de ellas explotan como supernovas e inyectan otros materiales al universo; las galaxias se fusionan unas con otras, crecen y gatillan la formación de nuevas estrellas. Así surgió la **Vía Láctea**, nuestra galaxia, que por su forma se le clasifica como de tipo espiral.

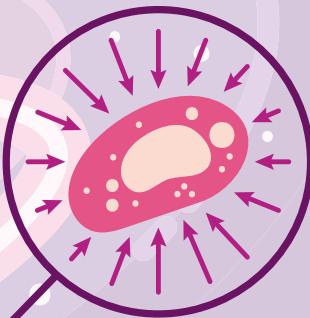
A pesar de que es imposible definir una edad exacta para nuestra galaxia, podemos decir que es casi tan antigua como el universo mismo. Algunos de los grupos de estrellas que orbitan la Vía Láctea (llamados cúmulos globulares) tienen edades cercanas a los 12 500 millones de años.

Hace unos 4500 millones de años, una gran nube de gas y polvo, ubicada en uno de los brazos espirales de la Vía Láctea, comenzó a contraerse y se dividió en nubes más pequeñas y densas. Así se formaron centenas o incluso miles de estrellas de diversos tamaños, entre ellas el Sol, que desde entonces se encuentra orbitando en torno al centro de la galaxia, además de unas pocas más calientes que él y muchas otras más pequeñas y frías.



The diagram illustrates the lifecycle of a star from a galactic gas cloud to its final demise. It starts with a spiral galaxy, zooms into a molecular gas cloud, shows it contracting under gravity, the formation of a protostar with a gas disk, and finally the star's death as a supernova. The background features a purple and pink nebula with stars and light trails.

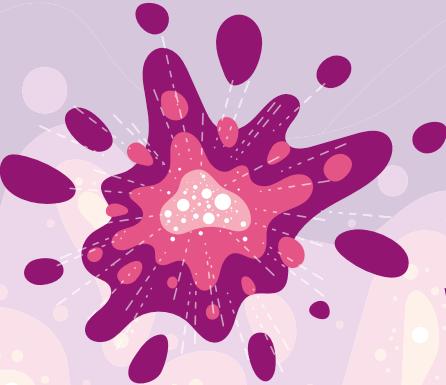
Todo comienza con la condensación del gas de una galaxia, lo que forma nubes de gas molecular.

A circular inset showing a red, irregularly shaped gas cloud with a yellow core. Numerous red arrows point inward from all directions, representing the force of gravity pulling the gas together.

Mientras la nube se contrae, las regiones más frías y densas colapsan producto de su propia gravedad.

A circular inset showing a bright yellow-white central protostar surrounded by a flat, multi-layered disk of gas and dust. The disk has concentric rings of varying colors from purple to yellow.

Se forman las primeras protoestrellas, rodeadas de discos de gas que les permiten seguir creciendo.

A large, explosive burst of red and purple energy with many smaller particles flying outwards, representing the end of a star's life.

Finalmente, la luz de las estrellas más grandes comienza a destruir la nube y se detiene la formación de estrellas.

El Sol es una de las más de 200 000 millones de estrellas que componen la Vía Láctea, la orbita a unos 25 000 años luz<sup>2</sup> de distancia del centro y viaja a una velocidad superior a los 200 km/s. Completar una sola órbita (año cósmico) le toma unos 250 millones de años terrestres.



---

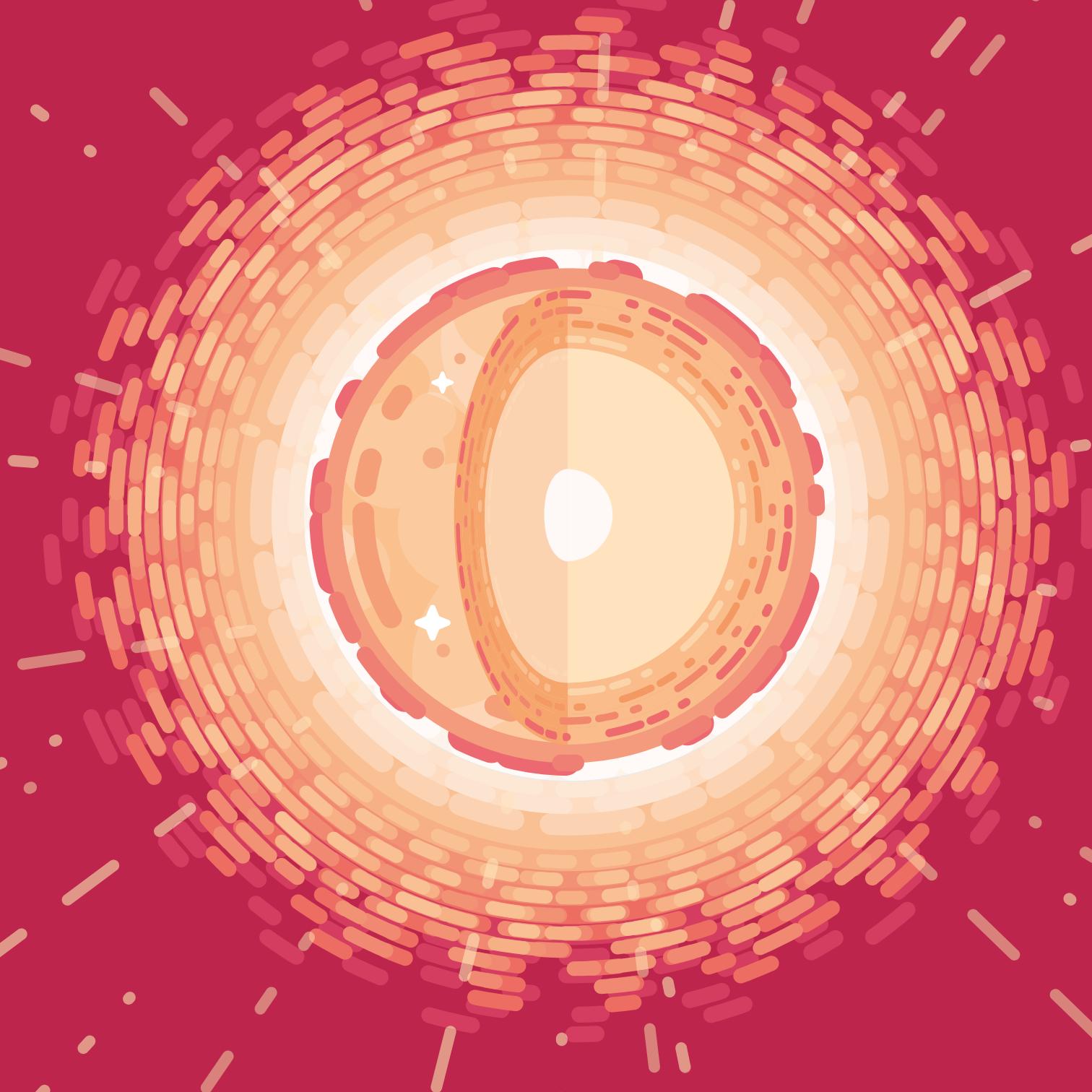
2 · **Año luz** es la distancia que la luz recorre durante un año viajando en el vacío y equivale a 9 461 000 000 000 km (o 9,5 billones aproximadamente). Es importante recordar que año luz es una medida de distancia, no de tiempo.

## ¿CÓMO LLEGAMOS HASTA EL DÍA DE HOY?

Mientras el Sol se formaba a partir de su nube, contrayéndose para llegar a ser del tamaño que es hoy, una ínfima parte de esta nube creó un disco a su alrededor y de este se originaron todos los planetas del sistema solar, desde Mercurio a Neptuno. Cada uno de ellos tomó parte del material que existía desde el Big Bang, o que alguna vez estuvo dentro de una estrella, y después de miles de millones de años se condensaron en un planeta. También se formaron los cometas, asteroides y el resto de los objetos que podemos encontrar en el sistema solar, como los planetas enanos, donde Plutón es el más conocido.

De los ocho planetas que tiene el sistema solar, en el tercero más cercano al Sol se desarrolló la vida. Al principio, unos 3000 millones de años atrás, solo había bacterias, pero con el tiempo esto fue aumentando y diversificándose hasta que hoy, como seres humanos, podemos investigar y entender cómo hemos llegado hasta aquí y maravillarnos con todo lo que existe.







***EL SOL***

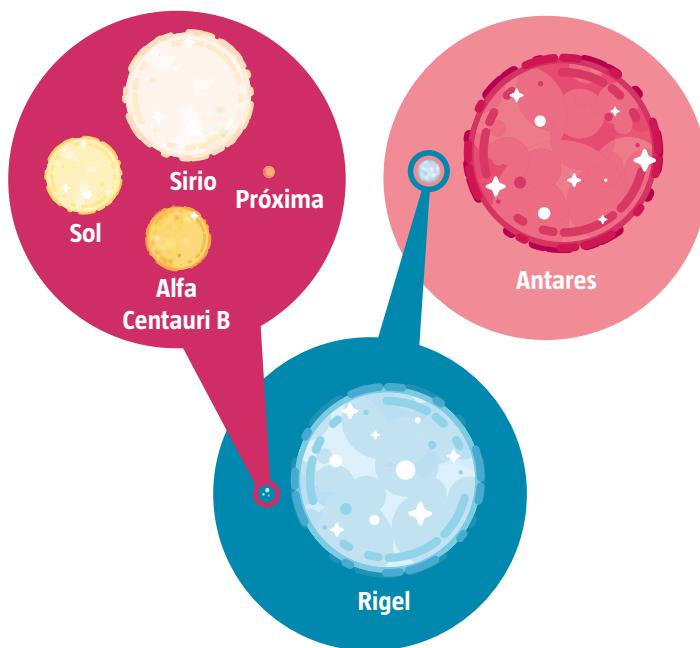
## EL BRILLO DE LAS ESTRELLAS

El Sol es la estrella más cercana a nosotros y se diferencia del resto por su gran luminosidad. Lo vemos tan brillante porque está “muy cerca”, a tan solo 150 millones de kilómetros de distancia, mientras que la siguiente estrella está a nada menos que 39 762 576 000 000 kilómetros (39 billones de kilómetros). ¡Doscientas mil veces más lejos!

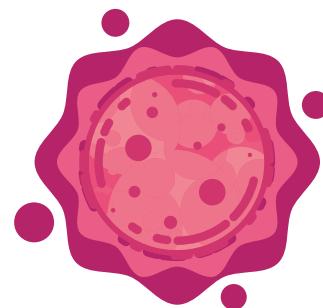
La mayoría de las estrellas que hay en el universo son, en realidad, de menor tamaño y brillo que nuestro Sol, sin embargo, llama la atención que gran parte de las que vemos por la noche son, de hecho, más grandes, más calientes y más luminosas. Parece contradictorio, pero pensemos que, de lejos, podemos ver brillar un foco o un farol. Un fósforo, en cambio, requiere que estemos relativamente cerca para ver si está encendido.

Revisemos un ejemplo real. La estrella más cercana es **Próxima**, en la **constelación del Centauro**. Esta es, en realidad, parte de un sistema de tres estrellas donde la principal es **Alfa Centauri A**, luego **Alfa Centauri B** y después **Alfa Centauri C** o Próxima. De esas tres, a simple vista, nosotros vemos las dos primeras, aunque parecen ser una sola ya que están muy cerca y necesitamos de un telescopio para poder verlas separadas. Alfa Centauri A es parecida al Sol en cuanto a tamaño, edad, temperatura y brillo, y es una de las estrellas que se ven más brillantes en el cielo del hemisferio sur, mientras que Próxima, a pesar de estar ligeramente más cerca, tiene poco menos de un octavo de la masa del Sol y una temperatura en la superficie que no alcanza a llegar a los 2800 °C (mientras

que el Sol supera los 5400 °C), lo que redonda en que su brillo sea menos que la centésima parte de lo que brilla el Sol, por esto no podemos verla sin ayuda, a pesar de estar tan cerca.



Hasta aquí cabría preguntarse: **¿Por qué todas las estrellas son distintas?** Cada una de ellas debe casi todas sus propiedades físicas, como color, brillo y tamaño, a su masa y a la edad que tengan. Si bien es cierto la composición química importa, es un factor secundario. Por ejemplo, el Sol tiene una masa de 1 988 000 000 000 000 000 000 000 000 kg ( $1.988 \times 10^{30}$  kg), la llamada **masa solar ( $M_{\odot}$ )**, y a todas las estrellas le asignamos un valor en comparación con esta. Próxima, entonces, tiene una masa de 0.123 masas solares.



En la siguiente tabla se pueden ver algunos ejemplos de estrellas y su masa, tamaño (radio) y brillo o luminosidad.

Una masa solar es igual a  $1.99 \times 10^{30}$  kg; un radio solar equivale a 700 000 km y el brillo del Sol corresponde a  $3.8 \times 10^{26}$  W. De esta radiación que emite el Sol, la Tierra podría usar entre 1500 y 40 000 exa Joules, mientras que el consumo de toda la humanidad en un año es de aproximadamente 600 exa Joules

Estrella	Masa	Radio	Distancia [años luz]	Luminosidad o brillo
Alfa Centauri A	1.1 M <sub>☉</sub>	1.22 R <sub>☉</sub>	4.3	1.52 L <sub>☉</sub>
Alfa Centauri B	0.907 M <sub>☉</sub>	0.86 R <sub>☉</sub>	4.3	0.5 L <sub>☉</sub>
Próxima (Alfa Cen. C)	0.122 M <sub>☉</sub>	0.15 R <sub>☉</sub>	4.24	0.0017 L <sub>☉</sub>
Sirio	2.06 M <sub>☉</sub>	1.7 R <sub>☉</sub>	8.6	25.4 L <sub>☉</sub>
Aldebaran	1.16 M <sub>☉</sub>	44 R <sub>☉</sub>	65.3	518 L <sub>☉</sub>
Canopus	8 M <sub>☉</sub>	71 R <sub>☉</sub>	310	10.700 L <sub>☉</sub>
Antares	12 M <sub>☉</sub>	680 R <sub>☉</sub>	550	97.700 L <sub>☉</sub>
Rigel	23 M <sub>☉</sub>	79 R <sub>☉</sub>	860	120.000 L <sub>☉</sub>

En astronomía, con este símbolo ☉ se representa al Sol.

### ¿SABÍAS QUE...

*...si la luz viajara a velocidad infinita o el universo fuera infinito, el cielo nocturno sería brillante pues en todas las direcciones veríamos alguna estrella? Sin embargo, como el universo tiene un comienzo y la velocidad de la luz es finita, nuestro cielo se ve oscuro.*

Lee más sobre la "Paradoja de Olbers" en este link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja\\_de\\_Olbers](https://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja_de_Olbers)

## ¿DE DÓNDE SACAN ENERGÍA LAS ESTRELLAS?

Para prender la luz, el teléfono o el computador, mover un auto, para calentarnos en invierno y enfriarnos en verano, para caminar, incluso para leer estas líneas necesitamos energía. ¿Y de dónde proviene esta energía? Hay distintas fuentes. Podemos quemar combustible para así generar calor o movimiento, podemos aprovechar el viento o la caída del agua en una cascada para transformar la energía cinética en energía utilizable para otros fines. También podemos tomar la luz solar y transformarla en energía química, guardarla en baterías y luego usarla para hacer funcionar nuestros aparatos electrónicos. Incluso las plantas pueden transformar la luz solar, el aire, el agua y minerales en azúcares que generarán energía a través de otros procesos químicos, pero ¿cómo se genera la energía que proviene del Sol?

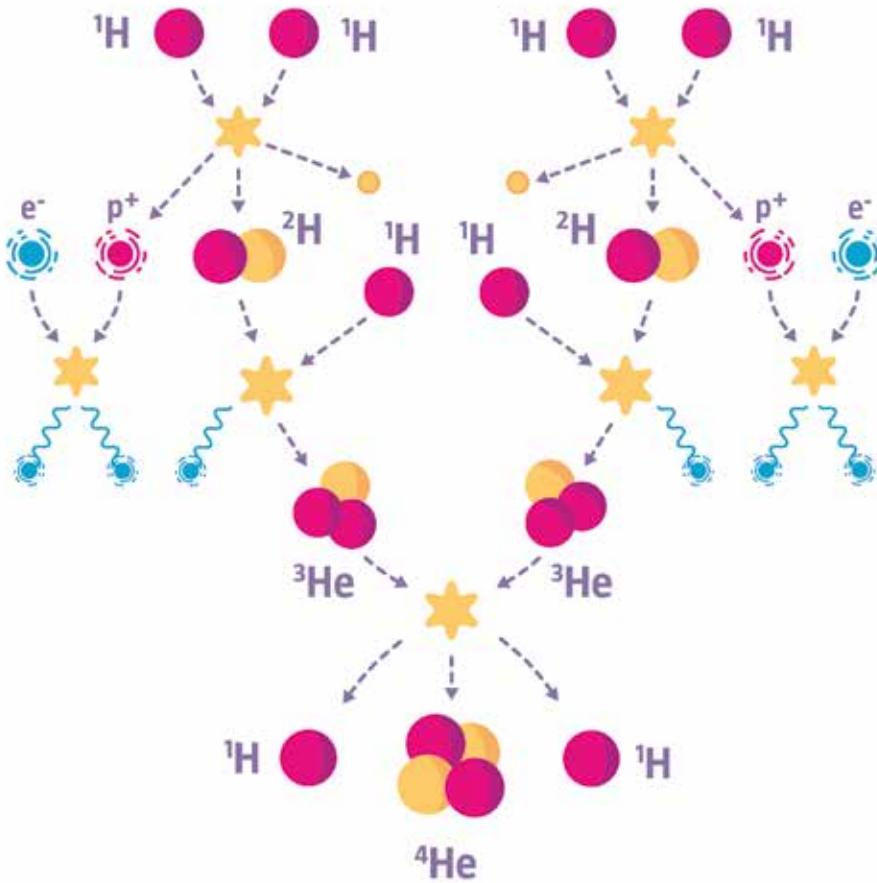
El Sol está hecho principalmente de hidrógeno y helio, los dos elementos más livianos y comunes de todo el universo, además de pequeñas cantidades de elementos químicos como carbono, nitrógeno, oxígeno, hierro, sodio, calcio y magnesio, entre otros.

A diferencia de las condiciones de la Tierra, el Sol posee una inmensa gravedad dada por su gran masa, lo que hace que su centro sea un lugar particularmente caliente. Además, es muy denso. Existe allí una presión gigantesca y, en estas condiciones extremas, se produce un fenómeno

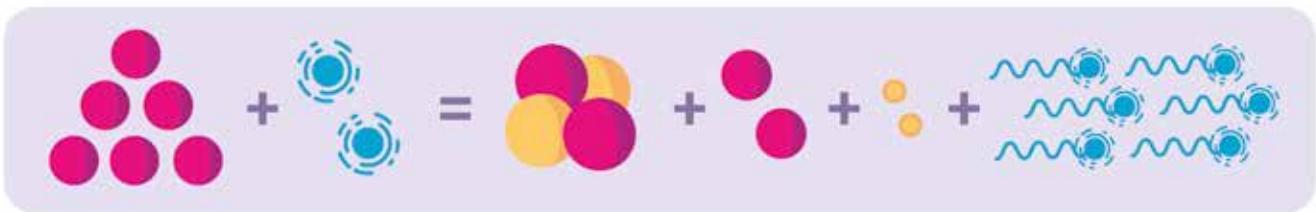
no conocido como **fusión nuclear**. La fusión nuclear es el proceso mediante el cual átomos pequeños y livianos, como los del hidrógeno, se juntan para crear átomos más grandes y pesados como los del helio. De hecho, se necesitan cuatro átomos de hidrógeno para crear uno de helio, aunque el proceso es un poco más complejo que solo juntar átomos.

# FUSIÓN DE HIDRÓGENO

## PARTÍCULAS



-  protón
-  deuterio
-  helio-3
-  helio-4
-  electrón
-  positrón
-  fotón/luz
-  neutrino



Resumen de reacciones

¿Qué tiene que ver esto con producir energía? Lo que ocurre es que si ponemos en una balanza cuatro átomos de hidrógeno en un lado y en el otro dejamos un átomo de helio veremos que la masa de los átomos de hidrógeno es ligeramente mayor que el helio en algo así como un 0.7%. Esto quiere decir que **durante el proceso de fusión de los átomos de hidrógeno ¡parte de la masa se pierde!**

### ¿SABÍAS QUE...

*...en el centro del Sol se pueden alcanzar 15 millones de grados Celsius y una presión 200 000 millones de veces mayor que la que presión atmosférica terrestre? Solo en estas condiciones se puede producir la fusión de elementos livianos transformándolos en elementos más pesados.*

Si has escuchado que “la masa nunca se destruye, solo se transforma” entonces, ¿qué pasó con la masa perdida en la fusión? Lo que ocurre es que **la energía es la que se transforma** y la masa es tan solo una forma más de energía, así como la luz y el calor. La famosa fórmula  $E=mc^2$ , que se lee como “energía = masa multiplicado por velocidad de la luz al cuadrado”, indica justamente esto: si se multiplica la masa de algo por la velocidad de la luz al cuadrado se obtiene su energía en reposo.

Si quisiéramos y pudiéramos transformar una piedra de 1 kg en energía tendríamos que hacerlo así:

$$E = mc^2$$

Donde  $c = 300\,000\,000 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$  (velocidad de la luz en el vacío)

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$E = 1 \times (300\,000\,000)^2 \text{ [Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$E = 9 \times 10^{16} \text{ [Joules]}$$

Esta energía es increíblemente grande, algo así como la energía total liberada en un terremoto magnitud 9.1 o la mitad de la energía de la bomba nuclear más poderosa detonada en la historia de la humanidad: la bomba de Tsar.

El Sol tiene una luminosidad de  $3.8 \times 10^{26} \text{ J/s}$ . Si dividimos este valor por la velocidad de la luz al cuadrado obtenemos la cantidad de masa que el Sol convierte en energía a cada segundo, y esto es más de cuatro millones de toneladas de materia. Afortunadamente, nuestra estrella tiene tanta masa que puede aguantar este ritmo de producción de energía por unos 4500 millones de años más. Si, aproximadamente, ya lleva esa cantidad de años de vida, podemos decir que está en la mitad de su existencia pues se estima que llegará a vivir unos 9000 o 10 000 millones de años.

### ¿SABÍAS QUE...

*...la energía que se produce en el Sol tarda unos 100 000 años en salir de este y llega a la Tierra en tan solo ocho minutos?*

### ¿SABÍAS QUE...

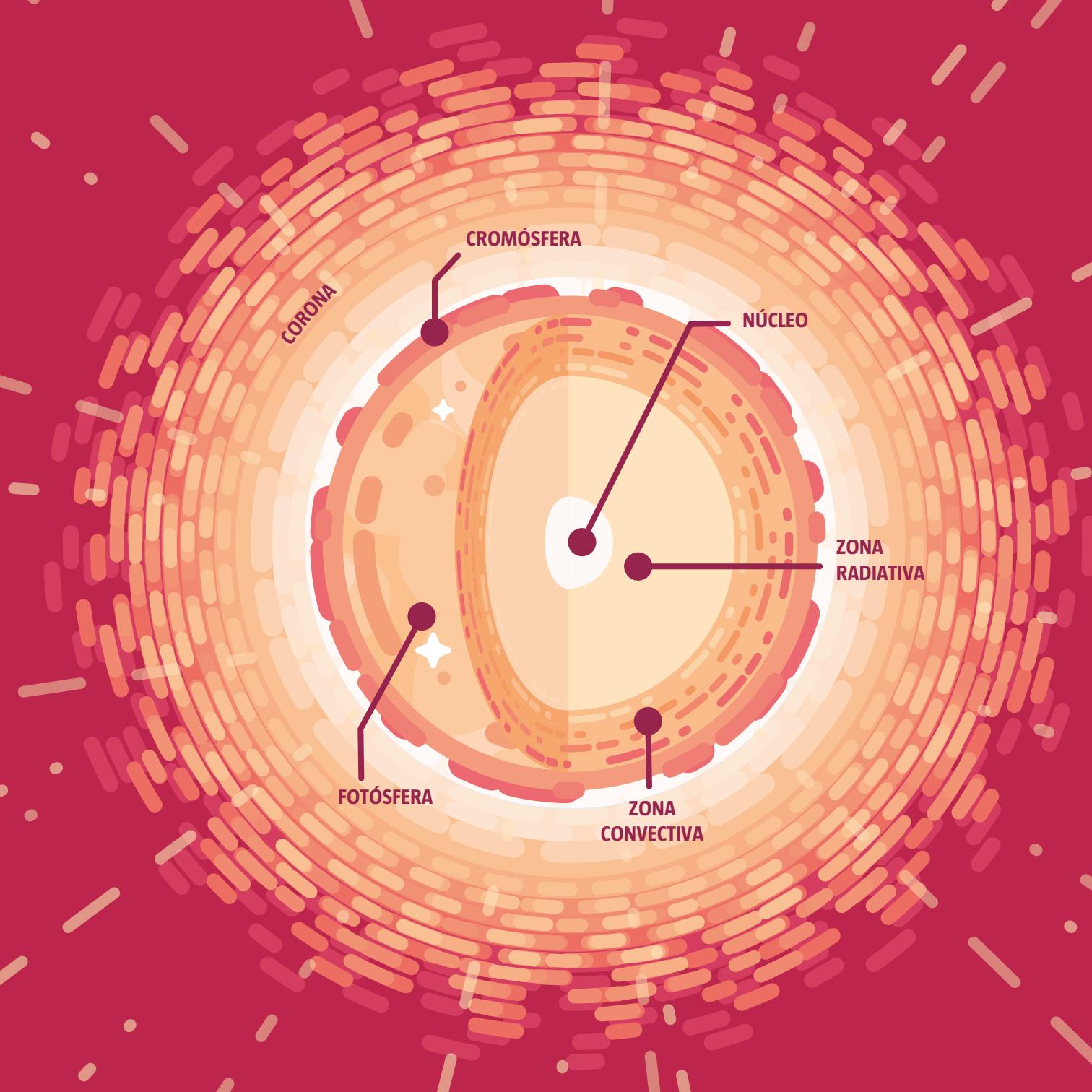
*...el Sol produce, a cada segundo, más energía que la que ha gastado toda la humanidad en su historia?*

## **LA ESTRUCTURA DEL SOL O ¿QUÉ HAY ENTRE EL CENTRO DEL SOL Y LO QUE NOSOTROS VEMOS?**

Esta estrella tiene seis capas principales:

### **EL NÚCLEO**

Aquí se produce su energía. Es lo más interno y llega hasta un 20% a 25% de su radio, es decir, si el Sol tiene 700 000 km de radio, el núcleo va desde el centro hasta unos 150 a 200 000 km. En este lugar, a cada instante, se acumula una mayor cantidad de helio.



CROMÓSFERA

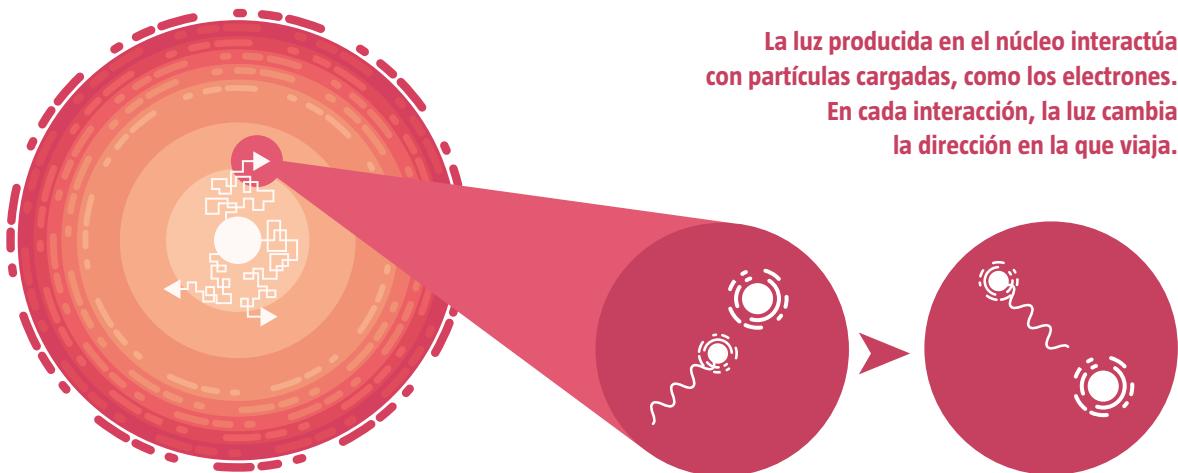
CORONA

NÚCLEO

ZONA RADIATIVA

FOTÓSFERA

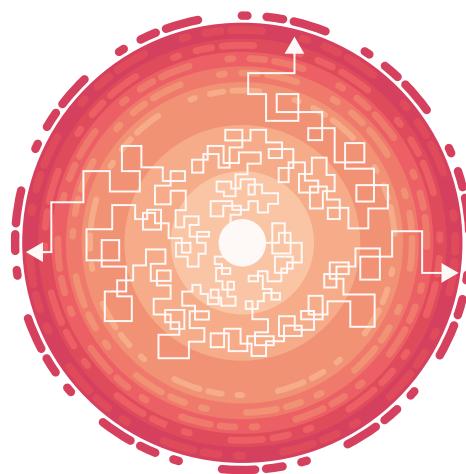
ZONA CONVECTIVA



La luz producida en el núcleo interactúa con partículas cargadas, como los electrones. En cada interacción, la luz cambia la dirección en la que viaja.

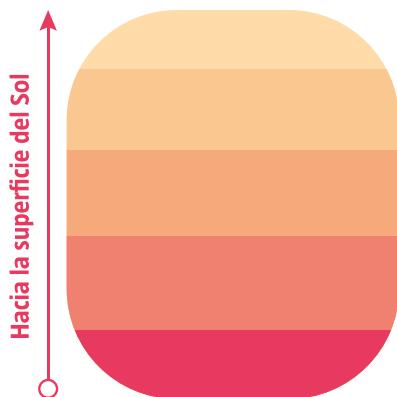
### ZONA RADIATIVA

La zona radiativa es la segunda capa, donde la energía producida en el núcleo se transporta hasta casi el 70% del tamaño del Sol, o sea, desde los 200 000 hasta los 500 000 km, a través del proceso físico de la radiación. La temperatura baja drásticamente en esta zona, desde los siete millones de grados hasta llegar a los dos millones de grados cuando alcanza una zona de transición denominada Tacoclina, para luego pasar a la tercera capa.

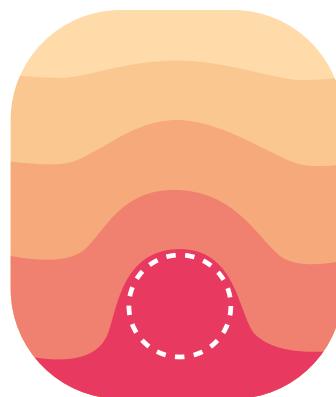


Las interacciones ocurren tan seguido que la energía lumínica tarda varios miles de años en escapar del Sol.

*Se cree que es en esta capa de transición que la rotación del Sol cambia de una rotación rígida, es decir, como una esfera de "acero", a rotar de forma diferencial, como cuando agitamos una pelota con líquido adentro y vemos que la pelota gira más rápido que el líquido en su interior. Esto, al parecer, generaría el campo magnético del Sol.*



Desde el núcleo del Sol hacia la superficie, la temperatura y la densidad decrecen.



El interior del Sol es caótico y en ocasiones se forman pequeñas burbujas de baja densidad que intentan salir a flote.



Si la burbuja se mantiene más caliente que su entorno continuará subiendo.

### ZONA CONVECTIVA

La capa convectiva va desde los 500 000 km hasta prácticamente su superficie visible. Aquí, la energía no se transporta por radiación, sino que por convección. El enfriamiento se produce de una manera diferente a la capa anterior, pues el material del Sol se mueve como "burbujas" de calor (**celdas convectivas**), que vienen de la Tacoclina y se expanden, lo que hace que "floten" o se muevan hacia arriba, llevando así el calor más interno hacia las partes más externas. Mediante estos movimientos de material (en estado de plasma) la temperatura baja desde los cerca de 2 000 000 °C en la Tacoclina hasta los 6000 °C de la fotosfera, que es la siguiente capa.

### ¿SABÍAS QUE...

...los movimientos de material generan, en la superficie del Sol, lo que se conoce como Granulación y Supergranulación?



Esto se llama convección y propaga la energía más rápido que la radiación en el interior de una estrella.

## FOTÓSFERA

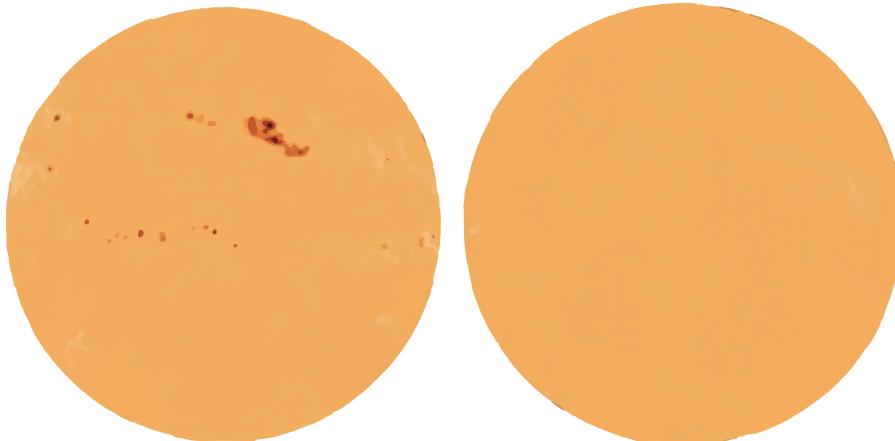
La fotosfera es la capa que vemos del Sol. Cuando hablamos de temperatura de una estrella generalmente nos referimos a la temperatura de la fotosfera, y los análisis químicos de las estrellas también se hacen con la luz proveniente de esta capa. En el caso del Sol, la temperatura de la fotosfera va desde los 4200 °C a los 5700 °C.

En esta capa podemos ser testigos de fenómenos como las manchas solares, que son zonas de menor temperatura producidas por campos magnéticos locales que impiden la subida de material caliente de las capas más internas. Estas manchas aparecen y desaparecen, y su presencia está relacionada con un ciclo solar de once años durante el cual el Sol cambia su campo magnético global, es decir, el polo norte cambia y se transforma en polo sur y viceversa. De este modo, si en un año vemos muchas manchas solares, cinco o seis años después veremos un mínimo de ellas.

Las manchas solares se pueden ver con un pequeño telescopio y un filtro solar adecuado.

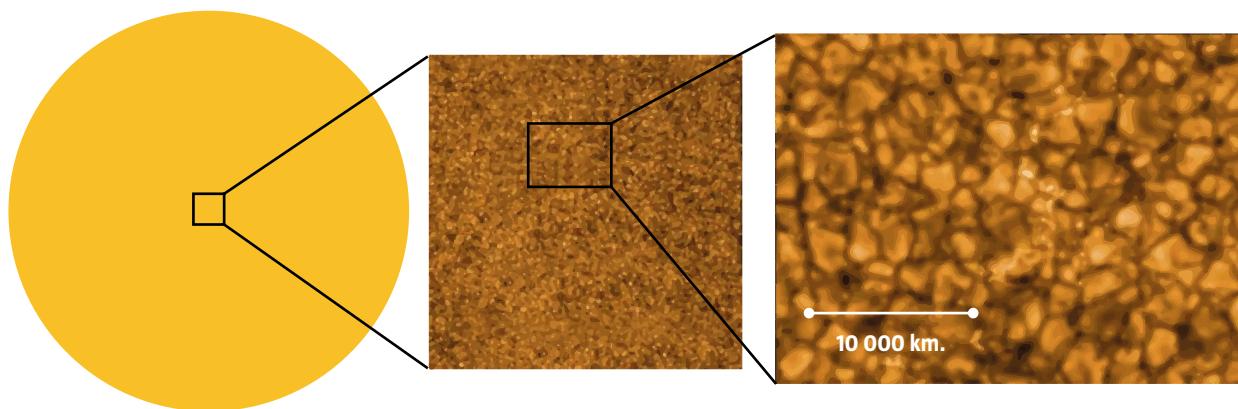


Los telescopios solares son especialmente diseñados para observar la superficie solar con un mayor contraste. Gracias a un filtro particular llamado filtro Halpa ( $H\alpha$ ) se pueden obtener claras imágenes de fulguraciones, manchas solares, espículas y granulación.



Imágenes del Sol durante períodos de máxima y mínima actividad en su fotosfera.

Otra de las características visibles en la fotosfera es la **granulación**, que debe su nombre a la forma de “granular” o de “granos” que toma el plasma caliente que viene subiendo desde la capa convectiva y que al llegar a la fotosfera se enfría. Este plasma tiene un núcleo caliente pero orillas de menor temperatura, lo que produce esta forma granulada en la superficie solar. Los gránulos tienen un tamaño promedio de 1500 km y se disipan pasado 10 a 20 minutos aproximadamente. La granulación es un movimiento constante y solo puede apreciarse al observar el Sol con un telescopio con filtros especiales para ello.



El diámetro del Sol es de 1 400 000 km.

La granulación del Sol se puede ver como pequeñas imperfecciones o diferencias de temperatura en la superficie. Para tener una idea del tamaño de estas celdas convectivas, en promedio, son ligeramente más pequeñas que todo Brasil o, visto de otra forma, dentro de cada “grano” podrías ubicar a Argentina, Colombia, Perú, Bolivia y Chile.

Finalmente, otra de las características de esta capa es el oscurecimiento hacia los bordes, conocido también como **oscurecimiento al limbo**, fenómeno que hace que el centro del Sol se vea más brillante y las orillas más oscuras.

¿Por qué ocurre esto? Cuando miramos hacia el centro del círculo solar podemos ver más profundo y la luz llega directamente hacia nosotros, atravesando menos capas de su atmósfera. En cambio, si miramos las orillas y queremos observar la misma profundidad que al mirar al centro, la luz tendría que atravesar más capas de atmósfera solar. De esta forma, al observar las orillas del Sol, en realidad vemos capas más externas y más frías y por esa razón se ve ligeramente más oscuro.

Algo parecido se puede observar en la atmósfera terrestre. Las estrellas en el cielo se ven mejor y más estables cuando miramos justo hacia arriba, mientras que se ven más borrosas o tintineantes cuando vemos hacia el horizonte, debido a que las estrellas que están justo arriba atraviesan menos capas atmosféricas para llegar hasta nosotros.



## CROMÓSFERA

Es la penúltima capa solar y se caracteriza por tener un color rojizo visible durante un eclipse total de Sol o a través de un telescopio solar especialmente diseñado para esta observación (un telescopio con filtro de hidrógeno alfa  $-H\alpha$ ). En esta capa, mucho menos densa que las anteriores, se observan fenómenos como las espículas, que son chorros de plasma que viajan a 20 km/s desde la fotosfera hacia el exterior. Las espículas pueden ocurrir en cualquier parte de la esfera solar y duran aproximadamente 15 minutos.

A diferencia del resto del Sol, en esta capa se observa que, a medida que se aleja del centro, la temperatura aumenta desde unos 4200 °C en la parte más externa de la fotosfera, hasta alcanzar unos 25 000 °C, 2000 km más “arriba”.

Una explicación definitiva sobre qué causa una inversión en la temperatura es aún materia de discusión, aunque lo más probable sea que el campo magnético local sufra ciertas alteraciones, conocidas como reconexión magnética. De esta forma, la energía del campo magnético se transforma en movimiento y calor lo que aumenta la temperatura de esta capa.

## CORONA

La corona es la capa más externa del Sol. Se extiende unos cuantos millones de kilómetros en el espacio, pero es muy poco densa, algo así como un billón de veces menos que la fotosfera. Por otra parte, su temperatura es muchísimo más alta, alcanzando temperaturas entre 1 y 3 000 000 °C. Esta capa es visible durante un eclipse solar o con el uso de cronógrafos especialmente diseñados para observarla. Cabe destacar que es, probablemente, una de las vistas más espectaculares e icónicas de un eclipse solar total.

La corona no tiene una forma bien definida ni simétrica y depende de la fase del ciclo magnético solar.

### *¿Qué es el ciclo magnético solar?*

*El Sol, así como la Tierra, tiene dos polos magnéticos: el polo norte y el polo sur. Cada once años estos polos se invierten y el que estaba en el norte pasa al sur. A esto se le conoce como ciclo magnético. Esta situación genera cambios en la radiación emitida por el Sol (menos de un 0.1%), así como en la cantidad de plasma que es eyectado desde su superficie.*

*Durante los máximos de actividad magnética solar, se observa una mayor cantidad de manchas solares en la fotosfera, mayor cantidad de fulguraciones, entre otros.*

*Estudiar estos cambios es importante ya que gatillan efectos en el espacio y en la Tierra, principalmente a nivel atmosférico, generan auroras polares y, en caso de eventos más fuertes, pueden incluso afectar los satélites que orbitan nuestro planeta.*



Imagen de la corona solar durante un eclipse total de Sol. Tras la sombra lunar, y destacado en rojo, podemos distinguir las fulguraciones, fenómenos típicos de la cromósfera.

El comportamiento de la corona solar aún no se conoce con exactitud y es uno de los grandes problemas abiertos de la física solar. No obstante, es posible que la misión solar Parker, puesta en órbita por la NASA en 2018, arroje más información sobre su funcionamiento.

El Sol es, sin duda, el astro que más atención ha recibido en la historia de la humanidad y su importancia se ha reconocido en todas las culturas. Profundizaremos un poco más sobre esto en el capítulo VI sobre cosmovisiones ancestrales de los eclipses.

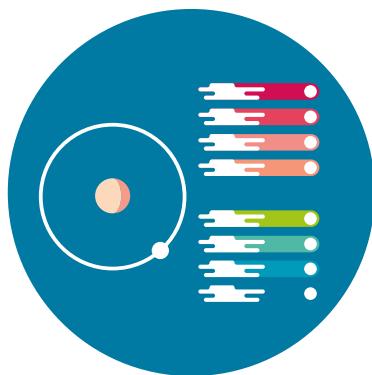
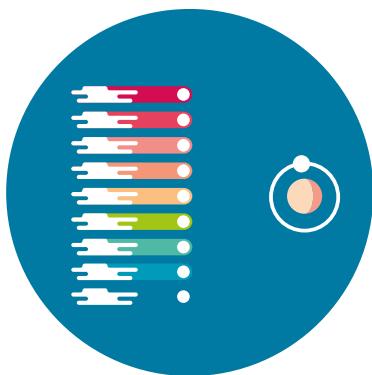
### • • • LAS ESTRELLAS ESTÁN COMPUESTAS POR ÁTOMOS PERO ¿CÓMO SABER CUÁLES SON LOS ÁTOMOS PRESENTES EN CADA UNA?

Los astrónomos investigan el material del que están hechas las estrellas. Para ello, solo pueden ver la luz que estas emiten. Afortunadamente, la luz que se genera en el centro de las estrellas, atraviesa su atmósfera y llega hasta nosotros, se comporta de la misma forma que aquella que generamos en la Tierra, y sus átomos tienen el mismo comportamiento tanto en la estrella como en el laboratorio.

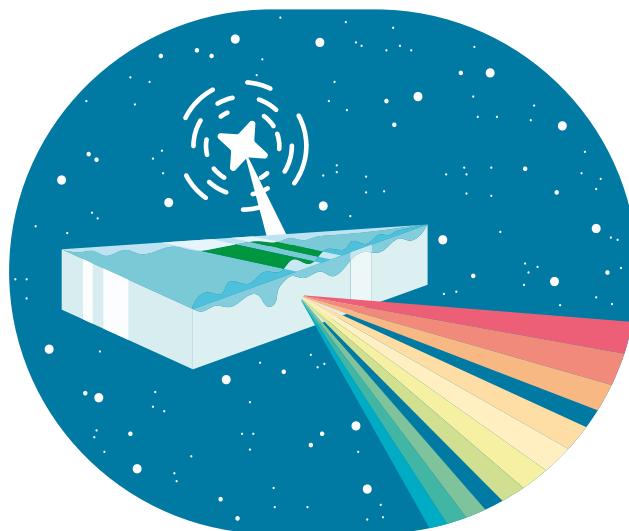
Esto significa que primero estudiamos qué tipo de luz generan los átomos en la Tierra y qué colores emiten y cómo y cuánto brilla cada color.

Por ejemplo, si el gas de un elemento es calentado, brilla siempre con los mismos colores, permitiéndonos calcular exactamente, gracias a las leyes de la física cuántica, a cuánta energía corresponde ese brillo. Los átomos pueden brillar o absorber luz solo en esos colores determinados.

Por su parte, lo que hacen los astrónomos es dispersar la luz que viene de las estrellas (dejándola como un arcoíris) y ver qué colores NO están presentes. Después, mediante la espectroscopía, técnica que se utiliza en casi todas las ciencias naturales, comparan los colores que faltan con los que emite cada átomo.



La luz de las estrellas interactúa con los electrones en los átomos. Fotones con la energía precisa son absorbidos y llevan electrones a niveles energéticos más altos. Si el electrón baja a un nivel menos energético emite un fotón, pero no necesariamente en la dirección original.



Analizando la luz de las estrellas observamos menos fotones con cierta energía, lo que revela información sobre los átomos en su atmósfera.

## Preguntas de repaso

1. ¿Por qué brilla el Sol?

2. ¿Qué hace que las estrellas sean diferentes?

3. ¿Cómo es el Sol por dentro y cómo lo sabemos?

4. ¿Cómo se transporta la energía del Sol a la Tierra?

5. ¿Qué capa del Sol se puede ver en un eclipse?

### ¿SABÍAS QUE...

*...el Sol tiene el 99.9% de toda la masa del sistema solar?*

*O sea que, si juntamos todos los planetas y sus lunas, los asteroides y los cometas, ellos solo suman una milésima parte de la masa del Sol.*

### ¿SABÍAS QUE...

*...el sistema solar viaja a 220 km/s en torno al centro de la Vía Láctea y que, a pesar de su gran velocidad, tarda 220 millones de años en dar una vuelta a la galaxia?*

*A este tiempo se le llama año galáctico o año cósmico.*



### ***PON A PRUEBA TUS CONOCIMIENTOS***

En el siguiente enlace <https://tinyurl.com/y356z72x> o código QR podrás encontrar fotos del Sol tomadas en distintos días y la fecha en que fueron capturadas.\*

A partir de ellas:

- 1 • Calcula la velocidad de rotación del Sol.**
- 2 • ¿A qué velocidad (en km/h) se movería algo ubicado en la superficie del Sol (sobre su Ecuador)?**
- 3 • Compara esa velocidad con la que experimentamos en la superficie de la Tierra.**

· Ten en cuenta que el radio del Sol es 700 000 km.

Si no sabes cómo empezar, te damos las siguientes pistas:

**PISTA 1:** Puedes calcular el movimiento de cada una de las manchas usando la grilla que se descarga del código QR. Para ello, sigue el movimiento individual de cada una y logra calcular cuántos grados se mueve la mancha por día.

**PISTA 2:** Si ya calculaste la distancia angular por día puedes calcular cuánto se demorará en completar los  $360^\circ$  de la esfera solar.

**PISTA 3:** Todo se puede simplificar con un mayor margen de error. Puedes tomar los valores extremos del día en que aparece una mancha y cuánto tiempo demora en desaparecer. Como recorrió la mitad del Sol (la parte que vemos), el tiempo total del recorrido debe ser el doble.

---

\* · Las imágenes de este ejercicio fueron tomadas de <https://sohowww.nascom.nasa.gov/classroom/docs/Spotexerweb.pdf> donde se puede encontrar un ejercicio más completo en inglés.

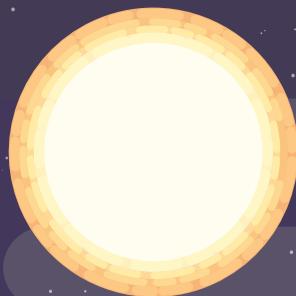
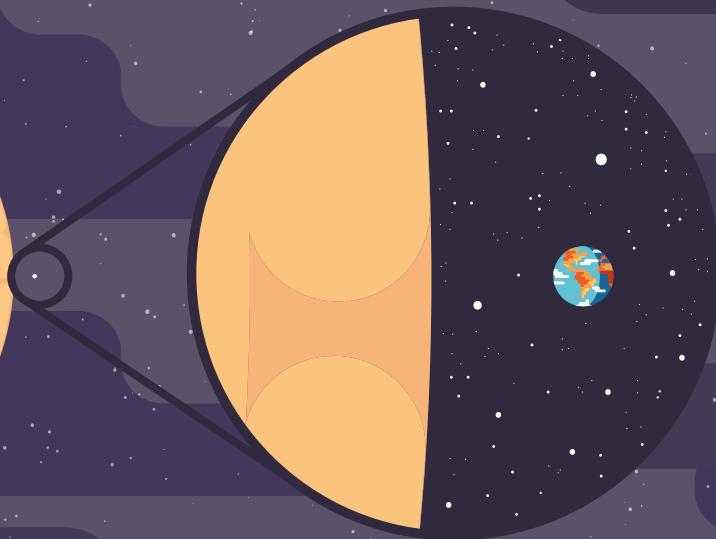
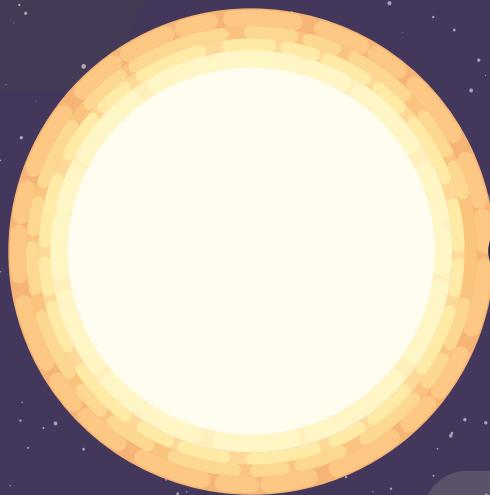




# ***LA TIERRA***

La Tierra es el tercer planeta del sistema solar en distancia desde el Sol. Es el más grande de los planetas terrestres (Mercurio, Venus y Marte), pero más pequeño que todos los planetas gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) y se ubica, en promedio, a unos 150 millones de kilómetros del Sol. Esta enorme distancia implica que la luz que viene desde el Sol no llega a la Tierra de forma instantánea, sino que tarda alrededor de ocho minutos ¡y eso que la luz es lo más rápido que existe! pues viaja a una velocidad de casi 300 000 kilómetros por segundo. Si por alguna razón el Sol desapareciera o dejara de brillar, nosotros nos demoraríamos ocho minutos en saberlo y la Tierra seguiría orbitando durante ese tiempo para luego, dado que el Sol ya no ejercería fuerza sobre ella, saldría viajando en línea recta por el espacio a unos 30 km/s.





1 391 400  
kilómetros



12 756  
kilómetros

149 597 870 700 kilómetros

Sol

Distancia a escala entre la Tierra y el Sol

Tierra

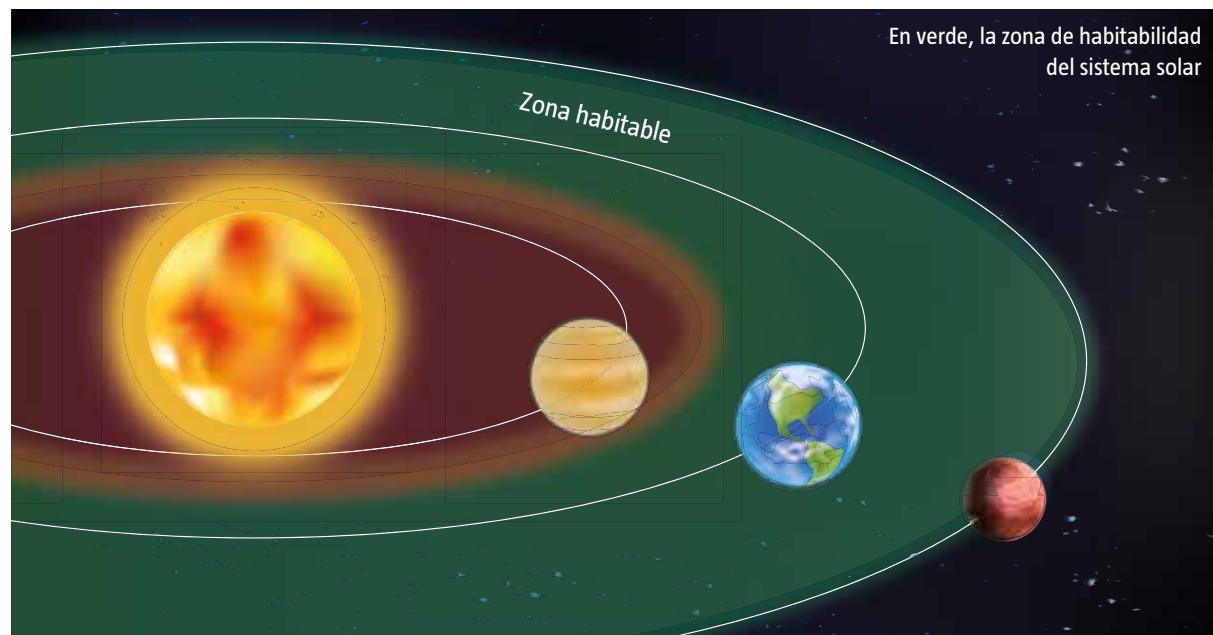
Esta distancia gigantesca es, por una parte, algo muy bueno, ya que si la Tierra estuviera más cerca, la cantidad de luz y energía que recibiría sería mucho mayor y por consiguiente, la temperatura aumentaría poniendo en riesgo el desarrollo de la vida. Por otro lado, si estuviéramos más lejos pasaría lo contrario: la escasa energía y bajas temperaturas harían difícil la existencia de vida en nuestro planeta.

Otra característica interesante es que la órbita de la Tierra es casi circular (en estricto rigor es una elipse) y aquello hace que no tengamos excesos o bajas muy grandes de radiación. Una órbita muy elíptica provocaría que pasaríamos un corto tiempo muy cerca del Sol, pero en ese periodo, aunque breve, la vida sufriría grandes cambios: habría incendios por todas partes y mucha radiación UV que mataría bacterias y causaría daño a quienes vivimos en la superficie terrestre. El resto del tiempo lo pasaría-

mos muy lejos del Sol, lo que traería una pequeña glaciación cada año y, al congelarse todo y recibir poca luz y energía, sería muy difícil sobrevivir.

Para describir un lugar como el que ocupa la Tierra en el espacio, es decir, en una órbita estable y casi circular a la distancia justa de su estrella, se ha inventado el término de **“zona habitable”** o **“zona de habitabilidad”**, que es la región del espacio, en torno a una estrella, donde la temperatura de un objeto o planeta es entre 0 y 100 °C, y es posible la presencia de agua en estado líquido bajo condiciones de presión normales .

Venus y Marte están en los límites interno y externo de dicha zona habitable, pero para que exista vida se necesita bastante más que solo la temperatura correcta. A continuación, abordaremos cuatro condiciones indispensables para la habitabilidad de la Tierra.



## **PRESENCIA DE AGUA LÍQUIDA**

Más del 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua. De hecho, la Tierra es el único planeta del sistema solar que tiene las tres fases del agua en su superficie (sólido, líquido y gaseoso).

Algunas de las propiedades que hacen del agua un elemento esencial para el desarrollo de la vida en la Tierra son: que es un excelente solvente, facilitador para muchas reacciones químicas y permite la transferencia de sustancias entre las células y su entorno. Además, la capacidad calórica del agua, es decir, la cantidad de energía requerida para aumentar la temperatura un grado Celsius, es muy grande, esto significa que, a diferencia de otros elementos como la roca o el metal, el agua demora más en calentarse, lo que permite que la temperatura en la superficie del planeta se mantenga estable y no varíe tanto entre el día y la noche.

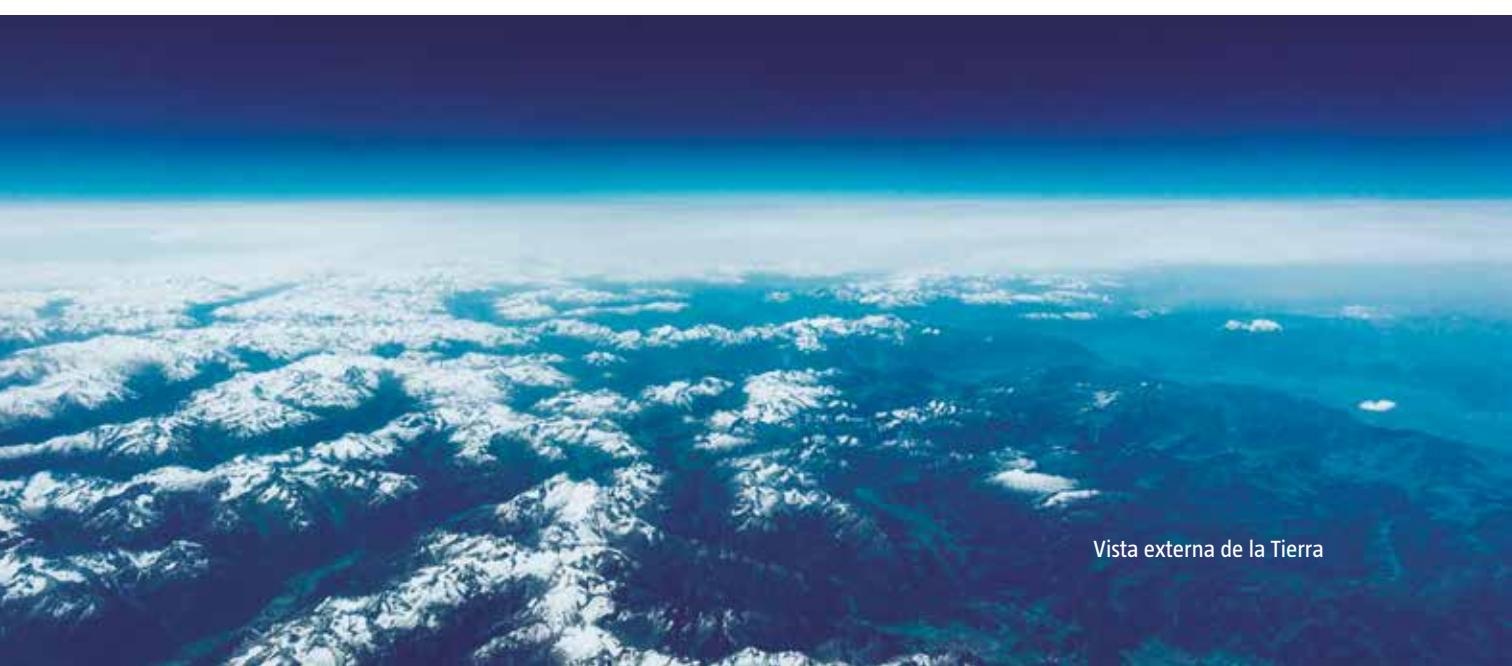


## ATMÓSFERA

La Tierra está rodeada por una delgada capa de aire que en su totalidad llamamos atmósfera y que nos protege de la radiación UV del Sol y de partículas como los rayos cósmicos, además de proveernos el oxígeno para que podamos respirar. Sin embargo, la atmósfera actual ha cambiado drásticamente con el tiempo. Es probable que la primera atmósfera, de muy corta duración, fuera mayoritariamente de hidrógeno y helio (sí, los mismos elementos de los cuales está hecho el Sol), pero al ser tan livianos y la Tierra un planeta relativamente pequeño y de baja masa, estos elementos se “evaporaron” y fueron liberados al espacio. Luego, tras la continua actividad volcánica, se formó una segunda atmósfera, dominada principalmente por metano, amoníaco y vapor de agua, además de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono. Es justamente en este ambiente donde comienza la vida.

Los primeros organismos vivos (bacterias) usaron la luz solar y estos elementos de la atmósfera para generar energía. Como desecho de este proceso produjeron grandes cantidades de oxígeno libre. Finalmente, con el paso de millones de años, estas bacterias terminaron por cambiar las condiciones de esta capa y hoy tenemos una atmósfera dominada por nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) además de otros gases como el dióxido de carbono, argón, neón, helio y ozono.

Es interesante hacer notar que, aunque la atmósfera ha cambiado durante los últimos millones de años, la vida ha permanecido como una constante, por lo que las restricciones para que exista no se limitan a una atmósfera idéntica a la que poseemos hoy.



Vista externa de la Tierra

## CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético es un campo fuerza. La Tierra posee un campo magnético importante, que parece estar relacionado con la composición del núcleo terrestre, un núcleo de hierro fundido en movimiento. Este campo magnético actúa como escudo de fuerza desviando gran parte de las partículas que vienen desde el Sol a gran velocidad. Esto nos beneficia, ya que sin este campo magnético las formas de vida terrestre se verían expuestas a una lluvia constante de partículas cargadas, como electrones (partículas o radiación beta), protones y núcleos de helio (partículas alfa), entre otras, poniendo en riesgo su existencia.

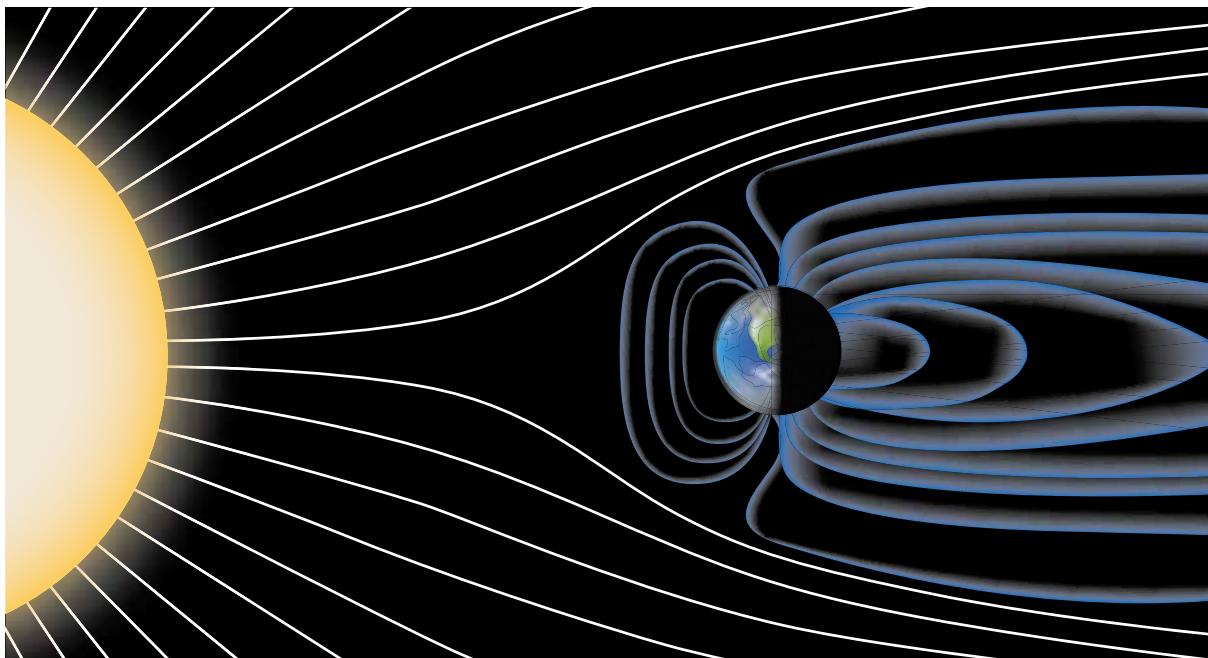
Una vez que las partículas son desviadas, estas se aceleran y entran a la Tierra por las regiones polares y producen uno de los fenómenos más espectaculares que se puedan apreciar: las auroras polares (boreales en el caso del hemisferio norte y australes en el hemisferio sur).

### ¿SABÍAS QUE...

*...el campo magnético de la Tierra, así como la Tierra misma, también tiene polos, pero que el polo norte magnético está, en realidad, cerca del polo sur geográfico y viceversa?*

*De hecho, si trazamos una línea recta entre el polo sur y norte magnético esta no pasaría por el centro de la Tierra ya que el campo magnético terrestre no es perfectamente simétrico.*

Campos magnéticos de la Tierra



## ¿SABÍAS QUE...

*...las auroras polares se producen cuando partículas con carga eléctrica procedentes del Sol son desviadas por el campo magnético terrestre y, al acercarse a la Tierra, son aceleradas no por la gravedad sino por la fuerza electromagnética?*

*Una vez que ingresan a la Tierra, al interactuar con los gases de la atmósfera, producen distintos colores. Amarillo y verde son resultado de las reacciones de las partículas con el oxígeno, mientras que el rojo, violeta y azul se dan por reacciones con el nitrógeno.*

Fotografía National Geographic. Mads Pete Iversen  
/Epson international PANO awards 2018





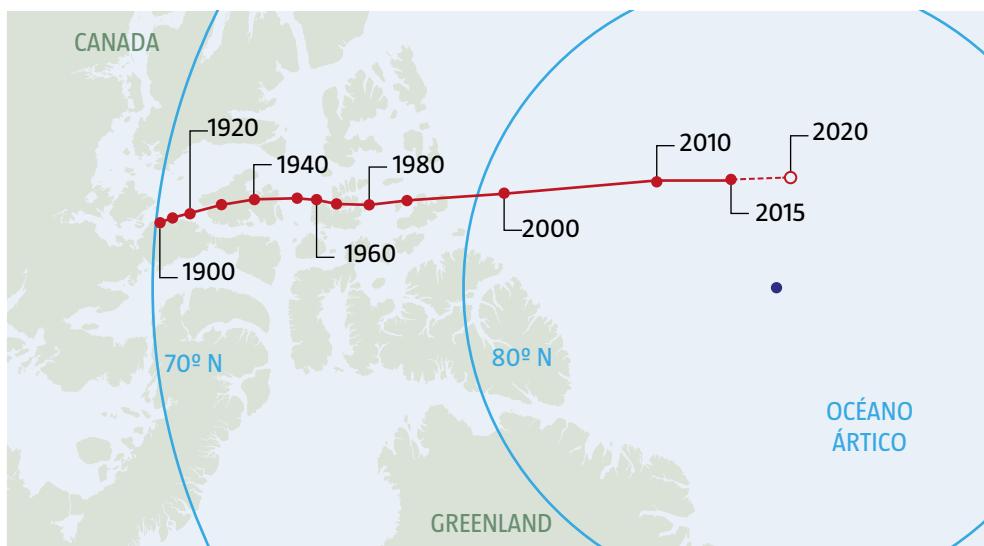
Los polos magnéticos y los polos geográficos terrestres no están alineados. De hecho, los primeros cambian con el tiempo. Es decir, con los años, nuestras brújulas nos indican dónde está el norte o el sur con una leve diferencia.

En la siguiente figura podemos ver cómo se ha ido moviendo el polo norte magnético en el tiempo. Al parecer, dichos cambios se deben a una variación en el movimiento del núcleo externo, pero es un tema de investigación abierto.

Finalmente, a lo largo de la historia de la Tierra, los polos magnéticos se han invertido varias veces y esto

lo podemos saber gracias al registro en las rocas de las dorsales mediocénicas, estructuras que se encuentran en el fondo del mar, que se forman con material magmático y que tienen elementos sensibles a los campos magnéticos (como hierro, por ejemplo). Estas partículas se alinean con el campo terrestre del momento y luego se solidifican sin poder volver a cambiar de posición.

En estas rocas se han encontrado cambios de orientación y por ello sabemos que el campo magnético ha sufrido inversiones y cambios constantes.



El lugar exacto del polo norte magnético cambia con el tiempo. Actualmente, está cercano a Canadá y se mueve hacia territorio siberiano, en Rusia. En los últimos 30 años, la posición geográfica del polo norte magnético ha cambiado más que en los 90 años anteriores.

## LA LUNA

La Luna es la principal responsable de que la Tierra mantenga su eje de rotación casi constante, ya que previene que existan cambios drásticos en la inclinación del eje terrestre. Es importante señalar que gracias a esta inclinación, de  $23.5^\circ$ , tenemos las cuatro estaciones. Sin ella, podría haber épocas en que, durante mucho tiempo, solo a una cara terrestre le llegara luz del Sol y se provocara un sobrecalentamiento, mientras la otra mitad se congelaría; o temporadas de invierno y verano muy extremas en diferentes zonas.

A pesar de que como especie humana vivimos hace miles de años en este planeta, aún hay muchas cosas que no entendemos completamente. Por ejemplo, aunque la Tierra es prácticamente una esfera perfecta, ligeramente achatada en los polos, todavía nos falta por entender, por ejemplo, por qué el polo sur es un poco más abultado que el polo norte.

Además, la Tierra tiene diversas formas sobre su superficie. La montaña más sobresaliente es el monte Everest, con unos 8848 metros de altura sobre el nivel del mar, ubicado en Nepal; por otro lado, la fosa de las Marianas, con una profundidad de 11 034 metros, es la fosa marina más profunda. A pesar de estos extremos, que nos parecen tan altos o tan profundos, si pudiéramos poner la Tierra a la escala de una bola de billar, sería muchísimo más lisa que la superficie de una de estas bolas nuevas.





### ***EJERCICIO MATEMÁTICO BREVE***

¿Cómo se podría verificar que la Tierra es mucho más lisa que una bola de billar?

Considera estas cifras:

- La Tierra tiene un diámetro de 12 730 km y una bola de billar un diámetro de 5.715 cm.
- La rugosidad máxima permitida en una bola de billar es de 0.0127 cm.

Ahora, compara a cuánto equivale la “rugosidad” de la fosa de las Marianas o el monte Everest.

(Pista: puedes usar la “regla de 3 simple”)

El interior de la Tierra es muy difícil de explorar. Uno pensaría que la mejor forma de saber qué hay dentro es hacer un hoyo y tomar muestras, pero eso no solo es difícil sino extremadamente costoso.

Una forma alternativa de estudiar el interior de nuestro planeta es ver cómo se transmite la energía a través de las rocas. La Tierra es muy activa en términos tectónicos, debido a ello se producen terremotos y erupciones volcánicas, pues las placas están en constante movimiento y la energía que produce dicho movimiento se desplaza a través de las rocas. La velocidad del desplazamiento, así como la pérdida de dicha energía, depende del tipo de roca y su densidad. ¿Cómo podemos medir esas ondas? Existen unos aparatos llamados sismógrafos. Al ubicar varios de ellos en distintas partes del globo terrestre podemos estudiar el interior de nuestro planeta.

El lugar más profundo excavado por el ser humano es el Kola Superdeep Borehole (Pozo superprofundo de Kola), ubicado en Rusia, que llega a los 12 262 metros de profundidad y fue construido con fines investigativos. No obstante, a pesar de sus dimensiones, no ha sido capaz de atravesar por completo la primera capa de la corteza terrestre, que en ese lugar es tan solo de unos 35 kilómetros de espesor.

## ¿SABÍAS QUE...

*...la misión espacial InSight llegó a Marte el 26 de noviembre de 2018 y su objetivo es observar el interior de este planeta? Para ello excavará unos centímetros y colocará un sismógrafo que permitirá entender mejor la corteza, manto y núcleo marcianos, y cómo el calor escapa de su superficie.*

*Basados en los descubrimientos de InSight esperamos entender mejor cómo evolucionan los planetas rocosos.*

## LAS CAPAS DE LA TIERRA

Gracias a investigaciones de la sismóloga danesa Inge Lehmann, hoy sabemos que nuestra Tierra tiene un núcleo que se puede dividir en dos: **núcleo interno** y **externo**. El primero es sólido, tiene una temperatura cercana a los 5400 °C, parecida a la de la superficie solar, y está hecho principalmente de hierro y níquel, mientras que el núcleo externo es de metal fundido y, al parecer, rota de manera diferente a las capas externas, lo que lo haría responsable del campo magnético terrestre.

Luego, mirando de adentro hacia afuera, está el **manto**, capa en que se concentra la mayor parte de la masa de la Tierra (aproximadamente el 67%), y corresponde al 84% de su volumen total. Es allí donde ocurre buena parte de la actividad sísmica y volcánica. En algunos casos, durante el choque de las placas, parte del material de la zona alta del manto y de la corteza oceánica son levantados, lo que nos permite tener acceso a rocas que pertenecen al manto. Estos lugares, fundamentales para

la comprensión de la composición de la parte superior del manto terrestre, reciben el nombre de ofiolitas. En Chile tenemos uno y está en la Patagonia, específicamente en la península de Taitao.

Finalmente, la capa más externa se denomina **corteza**. Es muy delgada, mide entre 5 y 70 km de profundidad, y todas las actividades humanas y animales se desarrollan en ella.

La mayor parte de las rocas presentes en la corteza terrestre tienen unos 100 millones de años de antigüedad, pero se han encontrado algunos minerales con una edad de 4000 millones de años, lo que indicaría que la Tierra posee una corteza rígida casi desde que se formó.



### EXPERIMENTO CASERO

¿Cómo funcionan las brújulas?

Con este breve experimento podrás ver cómo actúa un campo magnético sobre partículas metálicas.

#### MATERIALES

- Un imán
- Polvillo metálico (puedes conseguirlo de una virutilla)
- Un recipiente (puede ser de vidrio o plástico)
- Un litro de agua

#### PASO A PASO

- 1 · Raspa la virutilla y reserva el polvillo que cae de ella.
- 2 · Luego, vierte el agua en el recipiente y deja caer el polvillo metálico.
- 3 · Observa que el polvillo metálico queda mayormente sobre el agua (al menos los trozos más pequeños) y están ubicados de forma aleatoria.
- 4 · Ahora, pasa el imán lentamente por encima del agua sin tocar el polvillo metálico.

¿Qué diferencias ves con lo que estaba antes de pasar el imán?

Las diminutas partículas metálicas se ordenan y esto es porque el polvo metálico interacciona con el campo magnético producido por el imán.

Esta es la base de cómo funciona una brújula: una pequeña aguja metálica se alinea con el campo magnético de la Tierra. Las brújulas dejan de funcionar cuando un imán pasa cerca de ellas ya que este distorsiona el campo magnético que percibe su aguja.

### Preguntas de repaso

- 1· Desde que se formó la Tierra, su atmósfera ha sufrido grandes cambios ¿a qué se deben?
- 2· ¿Puedes mencionar y describir al menos dos efectos que produzca la Luna sobre la Tierra?
- 3· ¿Cómo podemos saber qué hay en el interior de la Tierra?
- 4· ¿A qué se debe que la Tierra tenga un campo magnético?
- 5· ¿Qué es la zona habitable o zona de habitabilidad?





# ***LA LUNA***

La Luna, ese gran objeto que podemos ver en el cielo tanto de día como de noche, es un satélite natural de la Tierra. Su superficie, con zonas de distintas formas y diversas sombras, resalta de inmediato y ha inspirado a prácticamente todas las culturas, incluido artistas, sacerdotes, guerreros y enamorados. La Luna es, comparativamente, el satélite natural más grande del sistema solar (si medimos su tamaño al del planeta al cual orbita). En el sistema solar, los únicos satélites más grandes que la Luna, en sentido absoluto, son Ganímedes, Calisto y Europa de Júpiter, Titán de Saturno y Tritón de Neptuno.

La superficie lunar está cubierta de cráteres pero ¿cómo se crearon? Desde su formación, la Luna ha sido bombardeada por rocas de diversos tamaños, al igual que la Tierra y los demás planetas<sup>6</sup>, que al chocar con su superficie a gran velocidad derriten la roca, dejándola como lava; una vez que la roca fundida se enfría queda una zona bastante plana y de un color más oscuro que sus alrededores. A estas zonas se les denomina mares, mientras que al espacio colindante, de color más claro, se le denomina tierras o mesetas.

Durante estas colisiones se liberaron grandes cantidades de gases, pero debido a su baja masa (y, por ende, poca gravedad) la Luna no fue capaz de retenerlos y por esto carece de una atmósfera.

Producto de los mismos impactos, sobre la roca maciza de la luna, se acumularon rocas pulverizadas llamadas regolitos. En el caso de la Tierra, el regolito existe mayoritariamente en las zonas tropicales, pero su origen es

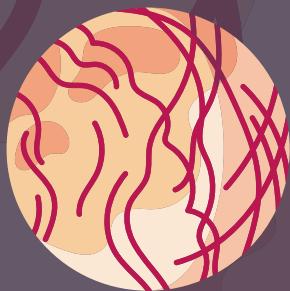
distinto al de la Luna. En esta, el 1% de este material es de origen meteorítico y se piensa que se produce por el bombardeo y acumulación de meteoritos de distintas dimensiones. Este regolito puede variar en espesor entre 2 a 20 metros, por ello, cada vez que una misión aluniza deja registro de dicho evento. A pesar de que toda la Luna está cubierta por este polvo, la mayor parte de su superficie (que está bajo esta capa) está compuesta de basalto, roca de origen volcánico o, en este caso, del interior lunar, que salió a la superficie tras impactos de meteoros.

La Luna, a diferencia de estrellas como el Sol, pero al igual que los planetas, no emite su propia luz, sino que refleja la luz que viene del Sol. Esto se explica porque no tiene suficiente masa para producir energía en su núcleo.

---

6 · En la Tierra podemos ver algunos cráteres, pero el vulcanismo, el agua (lluvias, ríos, glaciaciones) y el viento se han encargado de borrar la mayor parte de los cráteres, sobre todo los más pequeños y antiguos.

## SATÉLITES DEL SISTEMA SOLAR Y SUS DIÁMETROS



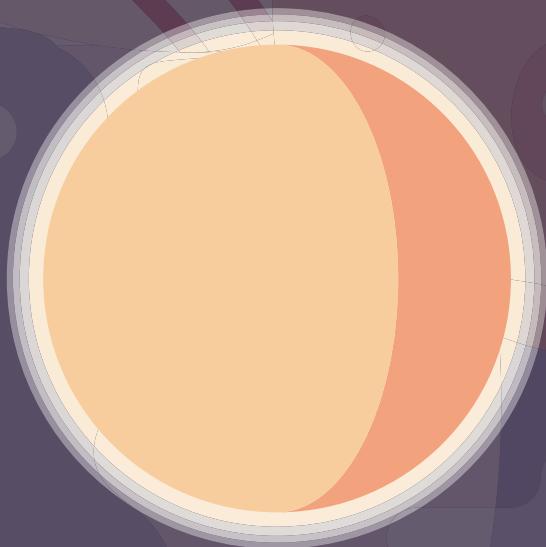
**EUROPA**  
3122 kilómetros



**LUNA**  
3474 kilómetros



**ÍO**  
3644 kilómetros



**TITÁN**  
5149 kilómetros



**TRITÓN**  
2707 kilómetros



**GANÍMEDES**  
5268 kilómetros



## EXPERIMENTO CASERO

### ¿Cómo se forman los cráteres?

Podrás distinguir las diferencias de los impactos y reconocer cuáles meteoros fueron más grandes o desde dónde vinieron, para generar los diferentes cráteres de la Luna.

#### Materiales:

- Un recipiente de plástico
- Un colador
- Tres kilos de harina
- Una taza de chocolate en polvo
- Y si quieres puedes buscar algún otro polvo que tenga color

#### Paso a paso:

- En el recipiente de plástico vierte los tres kilos de harina. Debes lograr al menos 5 cm de espesor
- Espolvorea el chocolate encima con la ayuda de un colador
- Arroja diversas piedras, de distintos tamaños y con distintas velocidades y ángulos.
- Mira los resultados y compara con imágenes de los cráteres de la Luna.

Puedes repetir el experimento más veces y agregar, además del chocolate, polvo de otros colores.

Este pequeño mundo rocoso, que nos cuenta una historia llena de impactos, orbita la Tierra en 27.32 días. A esto se le llama **mes sidéreo**. Como la Tierra se mueve en torno al Sol, el tiempo entre dos fases lunares idénticas se conoce como **mes sinódico** y dura 29,53 días.

Es probable que te hayas dado cuenta que la forma o formas que uno ve de la Luna son siempre las mismas. Esto se debe a que la Luna siempre muestra la misma cara a la Tierra, entonces, siempre vemos la misma mitad de ella. Cuando un objeto celeste le da la misma cara a otro se llama **sincronización de su órbita con su rotación**, es decir, su período de rotación y de traslación es exactamente el mismo. En el caso de la Tierra con el Sol eso no sucede, pues la Tierra rota 365.25 veces por cada traslación.

Que veamos siempre la misma cara de la Luna ha llevado a pensar que esta tiene un lado oscuro. Es cierto que hay un lado que no podemos ver desde la Tierra, pero eso no

quiere decir que no reciba luz y esté siempre oscuro, ya que el Sol ilumina todas las partes de la Luna en distintos momentos del mes lunar. Por ejemplo, durante la luna nueva, el Sol está iluminando por completo el lado que nosotros no podemos ver.



La Luna y sus cráteres



Fases de la Luna

Los antiguos griegos intuían bien que las fases de la Luna pueden explicarse gracias al movimiento relativo de ella en torno a la Tierra y que está mucho más cerca que el Sol. La razón de poder ver cierto brillo, incluso en las partes de la Luna no iluminadas directamente por el Sol, se debe al reflejo de la luz solar en la superficie de la Tierra.

### ¿SABÍAS QUE...

*...podemos ver más que solo una cara de la Luna?*

*De hecho, desde la Tierra podemos ver aproximadamente el 59% de la Luna gracias a un fenómeno llamado **libración**.*

*La libración es una oscilación de la Luna con respecto a la Tierra debido a tres razones: libración de longitud (por la excentricidad de la órbita lunar); libración en latitud (dada por una pequeña inclinación del eje de rotación con respecto a su órbita con la Tierra); y libración diurna, que es una consecuencia de la rotación terrestre. De este modo, si vemos la Luna al amanecer, al mediodía o al atardecer tenemos diferentes perspectivas de ella, su posición en el cielo y su tamaño.*

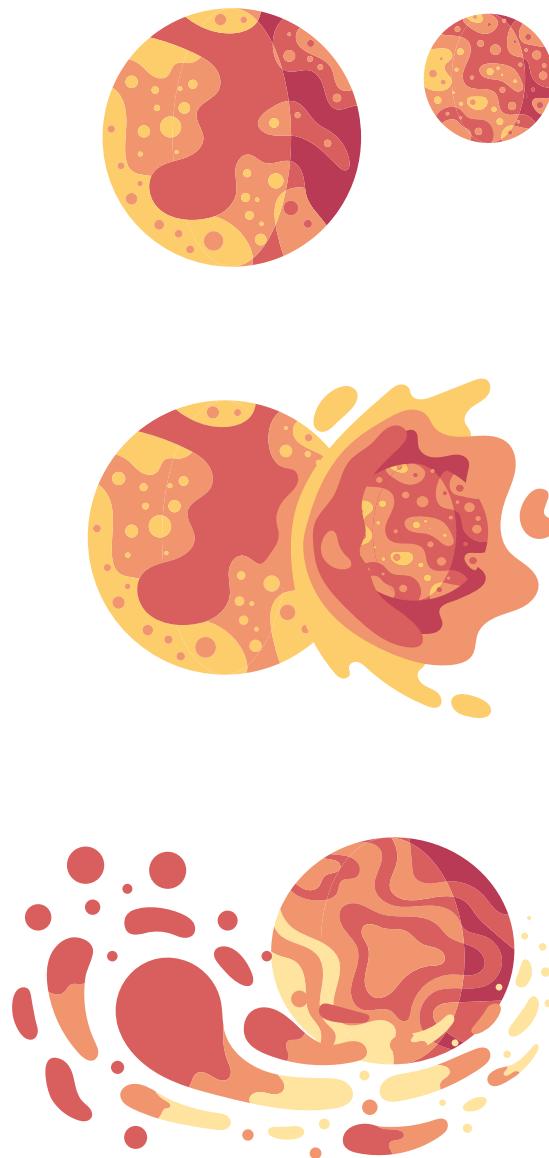
### ¿SABÍAS QUE...

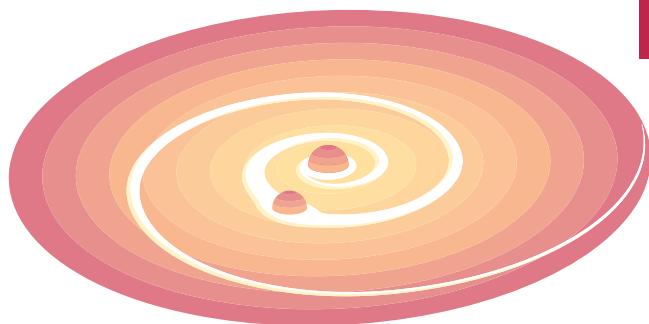
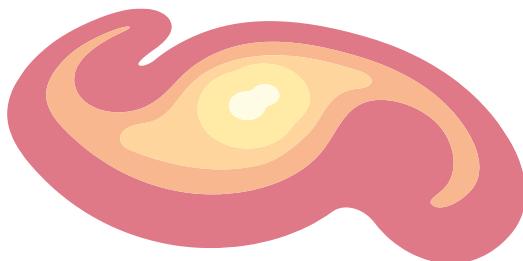
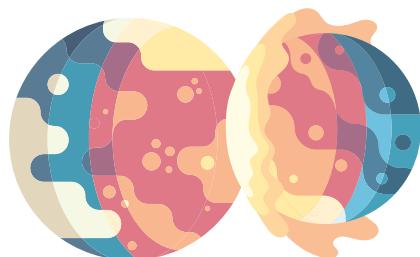
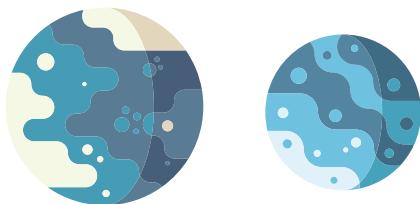
*...debido a que la Tierra refleja la luz del Sol y se proyecta en la superficie de la Luna, algunos astrónomos han observado la parte oscura de esta con telescopios terrestres?*

*¿Cómo funciona esto?*

*La luz solar se refleja en la Tierra y de rebote ilumina muy levemente la parte oscura de la Luna. Esa luz tiene impresa las características o huellas químicas de la atmósfera terrestre y nos permite observar la Tierra como si fuera un exoplaneta.*

El origen de la Luna es aún un tema de debate científico. La explicación más recurrente es la de un impacto gigante muy temprano, cuando el sistema solar estaba aún en proceso de formación, hace unos 4500 millones de años. Esta "teoría tradicional" dice que la Tierra original (o al menos un 90% de ella) fue impactada por un objeto del tamaño de Marte, denominado Theia, como la diosa griega -madre de Selene, diosa de la Luna-, y esto causó un impacto muy fuerte, que derritió y pulverizó a Theia, lo que causó un gran efecto en la Tierra. Parte del material proveniente de Theia quedó en la Tierra y otra parte fue expulsado para luego acumularse, por simple gravedad, en lo que hoy conocemos como la Luna. Esta teoría ofrece explicaciones razonables a varias de las propiedades que observamos tanto en nuestro planeta como en la Luna, como su distancia, órbita circular y el hecho de que su rotación esté sincronizada con la traslación (y que, por eso, nos dé siempre la misma cara). Pero en vista de nuevos análisis de rocas lunares traídas a la Tierra por las misiones Apollo, que muestran que dichas rocas tienen una composición muy parecida a la Tierra, y que la probabilidad que Theia tuviese la misma composición que la Tierra original son menores al 1%, han surgido otras teorías. Una de ellas plantea que si hubiese dos planetas, cada uno de cinco veces el tamaño de Marte, al chocar formarían un disco desde el cual se puede explicar la formación de la Tierra y la Luna y, en este caso, ambos sí compartirían la misma composición. Pero aún no está dicha la última palabra y por ello es importante poder seguir explorando nuestro satélite natural.





Ahora, independiente de la teoría sobre la formación de la Luna, todas coinciden en algo: en el pasado estuvo más cerca de la Tierra y esto es un fenómeno que podemos observar hoy. Al momento de formarse, la Luna estuvo muy cerca de nosotros, a unos 25 000 kilómetros de distancia, o sea, menos de una décima parte de la distancia actual. Esto causó grandes mareas y distorsiones en la superficie terrestre, lo que a su vez provocó que la Tierra girase cada vez a menor velocidad. La energía que nuestro planeta perdió por rotar más lento se transfirió a la órbita de la Luna y ocasionó que esta se alejase para, en consecuencia, moverse ligeramente más lento.

En la actualidad, cada año, nuestro satélite se aleja unos cuatro centímetros de nosotros. Tanto así que, en 100 años más, el día se acortará dos milésimas de segundo, lo que significa que, en un futuro muy lejano, la Luna se verá más pequeña de lo que la vemos hoy, las mareas no cambiarán tanto como lo hacen en la actualidad y el día tendrá más de 24 horas.

¿Si la Luna ejerce fuerza de marea en la Tierra, la Tierra también causa fuerza de marea en la Luna?

La respuesta es sí. La diferencia es que la superficie de la Luna es sólida, por lo tanto la deformación es mucho menor, mientras que el agua líquida es fácilmente deformable.

Sin embargo, de todas las cosas que se pueden destacar de la Luna, lo más importante ocurrió a fines de los sesenta. La misión Apollo 11 alunizó el 20 de julio de 1969 y convirtió a la Luna en el primer lugar fuera de la Tierra donde la humanidad logró poner un pie. Los astronautas, Neil Armstrong y Buzz Aldrin, estuvieron poco más de dos horas en esta superficie, en la zona llamada “Mar de la tranquilidad”. Allí montaron unos espejos –que aún hoy son utilizados para medir la distancia exacta a la Luna–, dieron paseos, hicieron experimentos y recolectaron muestras ¡Trajeron unos 22 kg de rocas! El tercer astronauta, quien no pudo bajar debido a que alguien tenía que pilotar la nave para regresar a la Tierra, fue Michael Collins.

Esta fue la primera de las seis misiones del programa Apollo que llevó astronautas que descendieron exitosamente en la Luna entre 1969 y 1972. El logro obtenido por las diversas agencias espaciales, en particular las de Estados Unidos y de la entonces Unión Soviética, marcaron un antes y un después en la historia de la humanidad, tanto así que se ha mencionado en varias ocasiones que hoy vivimos en la Era o Edad Espacial.

### **¿SABÍAS QUE...**

*...el Lunar Orbiter Reconnaissance, una sonda dedicada a la exploración lunar, pudo grabar en video los restos que dejaron las misiones Apollo 11, 12, 14, 15, 16 y 17, además de captar imágenes de otros satélites como Chang’e 3, de China?*

*Se puede ver el resto del módulo de descenso del Apollo 11, 12 y 14, las huellas o trazados de los astronautas del Apollo 14 y del vehículo dejado por Apollo 17, además de varios de los instrumentos utilizados en dichas misiones.*

*Revisa el video, siguiendo <https://moon.nasa.gov/resources/128/lro-explores-the-apollo-11-landing-site/> o escaneando el siguiente código QR con tu celular.*



En diferentes sitios de la Luna, las misiones Apollo dejaron varios instrumentos para poder estudiar el interior de este satélite y medir tridimensionalmente movimientos sísmicos. Los llamados **lunamotos** son muy leves y, aunque se registran cerca de tres mil movimientos por año, ninguno supera el grado II en la escala Richter. En general son muy superficiales y se deben sobre todo a variaciones de temperatura, impactos de misiones espaciales enviadas desde la Tierra o al choque de meteoritos.

Otro de los aspectos que llama la atención de la Luna es que su núcleo es bastante pequeño en comparación a los demás cuerpos rocosos del sistema solar. Su composición es principalmente de hierro, en parte fundido, según las últimas mediciones sísmicas realizadas.

La exploración de este satélite continuará arrojando datos sobre su evolución y formación, además es posible que la Luna sea usada como base para lanzar futuras misiones espaciales de exploración del sistema solar o como hogar de futuras generaciones de telescopios que funcionen en paralelo con algunos observatorios en la Tierra.

### ¿SABÍAS QUE...

*...La Luna sería un lugar ideal para colocar un telescopio debido a que carece de atmósfera y por esto se podría observar con una calidad imposible de lograr desde la Tierra? Además, se podría observar durante gran parte del día lunar, pues la luz del Sol, al no dispersarse, deja cielos oscuros tanto de día como de noche.*



IV

# *ECLIPSES*

Los eclipses son eventos astronómicos espectaculares, no solo nos permiten maravillarnos con un fuerte cambio de color en la Luna o, aún más impresionante, con pasar a tener plena oscuridad durante unos minutos en pleno día, si no que además nos posibilitan ver, en tiempo real, el movimiento de los astros cuando, por ejemplo, la Luna se interpone entre nosotros y el Sol o cuando la Tierra se cruza entre el Sol y la Luna.

**De forma general existen dos tipos de eclipses: los de Luna y los de Sol<sup>7</sup>.**

**Existen tres tipos de eclipses de Sol y se distinguen entre ellos por el grado de ocultamiento que hace la Luna del Sol.**

**Eclipses totales:** cuando la luna cubre por completo al Sol durante todo el tiempo que dura el eclipse.

**Eclipses anulares:** cuando la Luna está más alejada de la Tierra y su figura no alcanza a tapar por completo al Sol, quedando un anillo de Sol en torno a la Luna.

**Eclipses híbridos:** fenómeno que se da cuando la Luna está justo a la distancia donde sería capaz de cubrir al Sol por completo, pero, a medida que avanza, se aleja ligeramente de la Tierra y deja de eclipsar al Sol transformándose en un eclipse anular. También puede comenzar como un eclipse anular y luego acercarse un poco para convertirse en un eclipse total.

## ¿CÓMO SE PRODUCEN LOS ECLIPSES?

Los eclipses de Sol y Luna suceden cuando se alinean el Sol, la Tierra y la Luna. Hablamos de eclipse lunar cuando la Tierra se interpone en el camino de la luz del Sol hacia la Luna, oscureciéndola por completo. En el caso de un eclipse de Sol, es la Luna la que se interpone en el camino de la luz solar antes de que llegue a la Tierra.

Un eclipse lunar es visible desde cualquier parte del globo terrestre que esté del mismo lado que la Luna, mientras que un eclipse de Sol solo es visible desde una pequeña parte de la Tierra, debido a que esta, al ser mucho más grande que la Luna, logra ocultar la luz del Sol de toda la superficie. En el caso de la Luna, al ser de menor tamaño, solo bloquea completamente la luz solar en una región muy pequeña de la Tierra y de forma parcial en una zona más grande (lo que llamamos eclipse parcial de Sol)

Los eclipses de Luna siempre ocurren cuando hay luna llena, mientras que un eclipse de Sol siempre se da en luna nueva. Esto es así porque solo en esas posiciones se encuentran completamente alineados.

Para entender mejor miremos las siguientes figuras:

---

7· Técnicamente existe un tercer tipo que involucra dos estrellas. Lo discutiremos en el capítulo V.



3474  
kilómetros



12 756  
kilómetros

Distancia a escala entre la Tierra y la Luna



Caben alrededor de 29 tierras entre la Tierra y la Luna

Distancia promedio entre la Tierra y la Luna



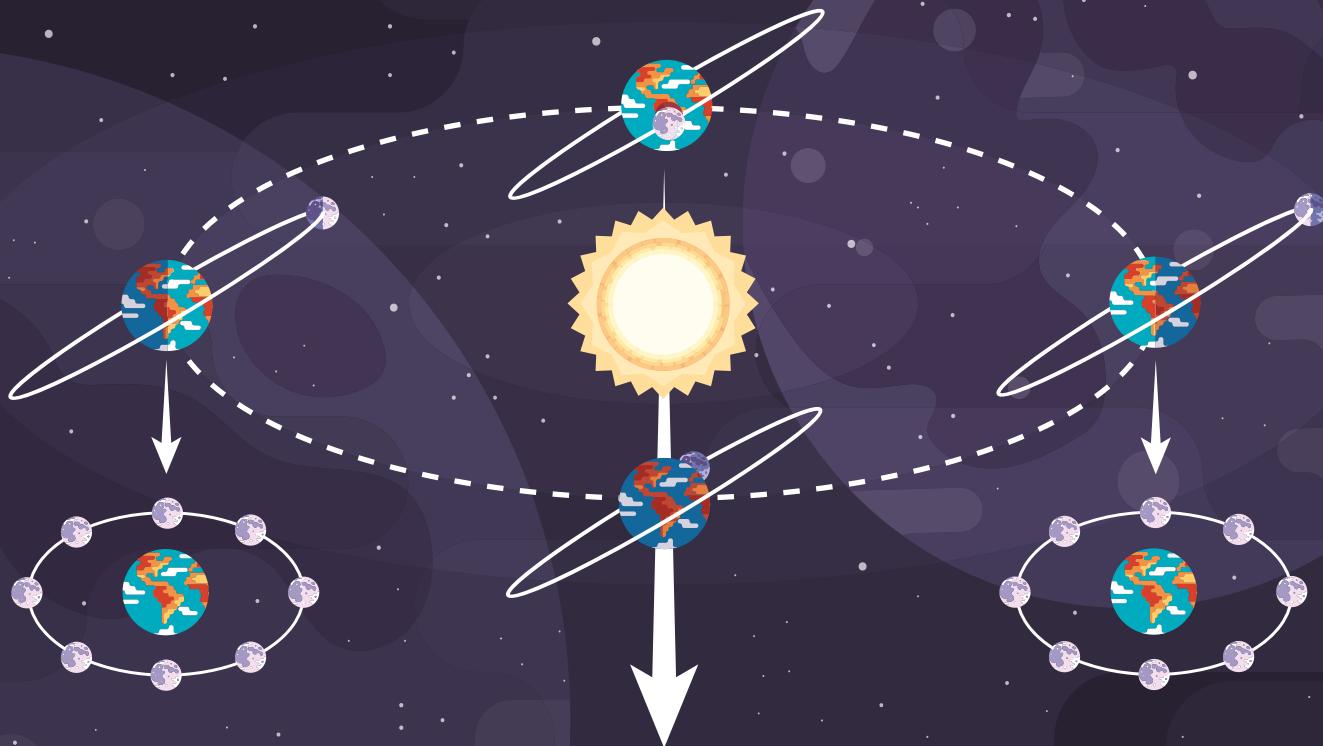
385 000 kilómetros



Para que ocurra un eclipse solar o lunar la Tierra, la Luna y el Sol deben estar casi perfectamente alineados.

Debido a la órbita de la Luna alrededor de la Tierra y a su lejanía, esas condiciones solo se cumplen aproximadamente cada seis meses.





Desde la perspectiva del Sol, durante la mayor parte del año la Luna se mueve alrededor de la Tierra sin cruzarse.

En dos regiones de la órbita de la Tierra, opuestas entre sí, la órbita lunar se cruza entre nuestro planeta y la luz que proviene del Sol.



La Luna se demora alrededor de 29 días en dar una vuelta alrededor de la Tierra. Ese tiempo es suficiente para que, luego de un ciclo lunar, nuestro satélite no sea capaz de proyectar nuevamente una sombra en la Tierra y, por lo tanto, no se produce un nuevo eclipse.





10 días después del eclipse



20 días después del eclipse



30 días después del eclipse

En la imagen vemos cómo la luz del Sol es bloqueada por la Tierra o la Luna respectivamente.

Según lo que se observa y lo que abordamos en el capítulo III de este libro, cada 29.53 días se produce una luna nueva y otra llena. Pero ¿por qué no hay eclipses cada vez que esto pasa? Porque la Tierra orbita al Sol en un plano

(llamado eclíptica) y la Luna orbita a la Tierra en otro plano, ligeramente inclinado con respecto al primero. Ambos planos están separados por apenas  $5^\circ$ . Parece una inclinación muy leve, sin embargo, es suficiente para que las sombras proyectadas de la Luna o de la Tierra caigan fuera del otro objeto.

Hoy podemos predecir los eclipses con mucha anticipación gracias a cálculos precisos, usando fórmulas matemáticas y lo que sabemos sobre física, mientras que en el pasado, algunas civilizaciones lograron hacerlo identificando patrones en los movimientos lunares, producto de su gran poder de observación y precisas notas sobre acontecimientos anteriores.

Los sabios astrónomos/astrólogos caldeos de la nueva Babilonia, en torno al siglo IV a. C., identificaron lo que luego los griegos denominaron **saros** y que decía relación con el período de 223 lunas, es decir, unos 18 años, 11 días y 8 horas. Estos sabios se dieron cuenta que cada vez que se cumplía un saros la posición del Sol, la Tierra y la Luna eran muy parecidas y, por lo tanto, se repetían las mismas series de eclipses, pero estos no serían en el mismo lugar de la Tierra, debido a que el ciclo no tiene un número entero de días, sino que cuenta con ocho horas adicionales. En esas ocho horas, la Tierra ha dado casi un tercio de vuelta (ocho horas sobre las veinticuatro que tiene un día) y por ello el eclipse sucederá aproximadamente un “un tercio” de Tierra hacia el oeste. Por ejemplo, si hoy ocurre un eclipse en la ciudad de Concepción en Chile, en un saros más debería ser en Nueva Zelanda.

Basados en esto, uno esperaría que cada tres saros (algo así como 54 años) se experimentara un nuevo eclipse solar en la misma región, pero eso no es exactamente cierto debido a pequeñas diferencias y otros movimientos celestes asociados. De hecho, en promedio, una zona de la Tierra ve nuevamente un eclipse total de Sol cada trescientos años.

Actualmente, conocemos mucho mejor las leyes físicas que gobiernan los cuerpos celestes y se pueden calcular con gran precisión los movimientos de los planetas y sus satélites.

Para hacer cálculos más precisos se incluyen las fuerzas de gravedad del Sol, los ocho planetas y sus satélites, asteroides y planetas enanos. Además, en los cálculos de movimiento se incluye el efecto de las mareas, la distribución de masa en la Tierra (que no es perfectamente homogénea) y movimientos terrestres como la **precesión** y la **nutación**, entre otros.

### ¿SABÍAS QUE...

*La duración de un eclipse depende de la posición de la Tierra con respecto al Sol, de la Luna respecto a la Tierra y de qué parte de la Tierra está siendo oscurecida. Teóricamente, el eclipse solar más largo podría durar 7 minutos con 32 segundos. Hasta ahora, el más largo del que se tiene registro fue el 15 de junio del año 743 a. C. y duró 7 minutos y 28 segundos.*

*El 16 de julio de 2186 se espera un eclipse total de Sol, que pasará por Venezuela, que durará 7 minutos con 29 segundos, convirtiéndose en el más largo desde el 4000 a.C. y lo será, al menos, hasta el año 6000 d. C.*

## EL FUTURO DE LOS ECLIPSES

Tanto la Tierra como la Luna ejercen fuerzas de atracción entre ellas, sin embargo, esta atracción no ha sido constante desde que ambas se formaron y la distancia entre ellas van cambiando. De hecho, como vimos en el capítulo III, la Luna se aleja cuatro centímetros por cada año que pasa, lo que nos confirma que en el pasado remoto la Luna estuvo mucho más cerca de la Tierra y que en el futuro estará más lejos.

¿Qué consecuencias puede traer esto? En un futuro lejano ya no podremos ser testigos de eclipses totales de Sol, ya que la Luna, incluso en su posición más cercana a la Tierra, no alcanzará a tapar por completo al Sol y solo se producirán eclipses anulares o parciales.



Millones de años después



5000 millones de años después

## LOS MOVIMIENTOS DE PRECESIÓN Y NUTACIÓN

La precesión es un movimiento terrestre que se produce porque la Tierra no es una esfera perfectamente homogénea y eso trae como resultado que el eje de rotación cambie en el tiempo.

Para imaginar este movimiento observa cómo gira un trompo. Uno esperaría que solo gire, pero lo que en realidad pasa es que el trompo, además de girar, su eje de rotación describe un movimiento circular, una especie de cabeceo. Ese movimiento es justo lo que le pasa a la Tierra. Si pudiéramos atravesarla con un lápiz gigante, capaz de dibujar una línea en el cielo, veríamos que se trazaría un círculo y que el proceso de dibujar dicho círculo demoraría aproximadamente 26 000 años.

Este fenómeno (conocido como “precesión de los equinoccios”) fue descrito por el gran astrónomo y matemático griego Hiparco en el siglo II a. C., basándose en observaciones hechas por astrónomos o astrólogos babilonios. Hiparco se dio cuenta que la posición de las estrellas durante los equinoccios era ligeramente distinta a la observada por astrónomos del pasado y calculó que la desviación tendría que ser de un grado por cada siglo (el valor medido hoy es  $1.38^\circ$  por siglo). En el siglo IV d. C. este fenómeno también fue descrito por el astrónomo Yu-Xi de la dinastía Jin, en China. No obstante estos avances, la explicación de por qué ocurría la precesión seguía siendo una incógnita y solo gracias a los estudios de mecánica celeste de Isaac Newton se pudo comprender a cabalidad: la precesión se produce por las fuerzas que ejercen principalmente el Sol y la Luna

sobre la Tierra, y que esta última no es un esferoide perfecto.

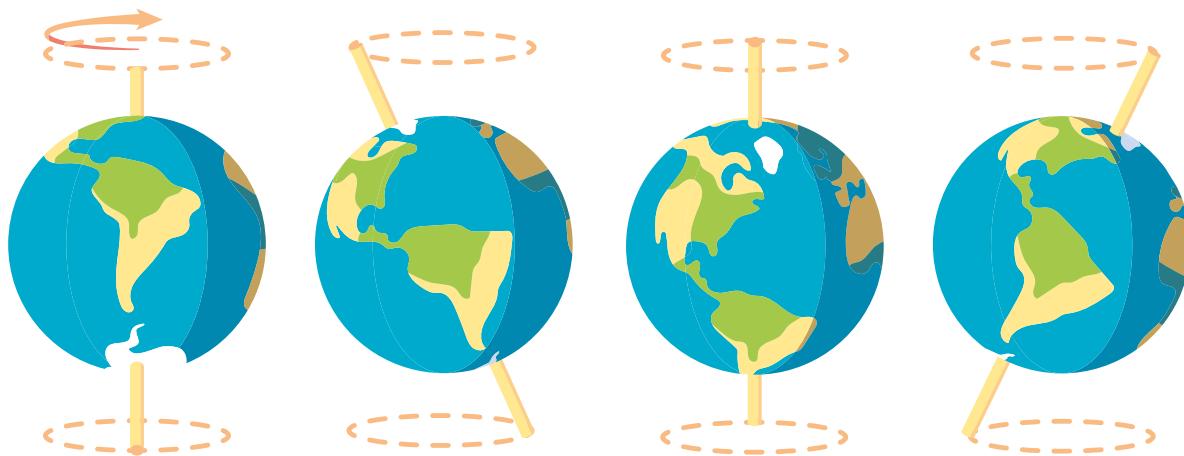
La nutación, en tanto, es un movimiento que se superpone a la precesión y se da, en gran medida, por la atracción gravitacional que siente la Tierra por la Luna y el Sol<sup>8</sup> y, en particular, debido a la inclinación de cinco grados que tiene el plano en que orbita la Luna a la Tierra con respecto del plano en que orbita la Tierra al Sol.

En resumen, estos dos movimientos son causados porque la Tierra rota sobre sí misma y no es una esfera perfecta. Sobre este movimiento, la Luna genera una pequeña distorsión extra al no estar perfectamente alineada con la órbita de la Tierra.

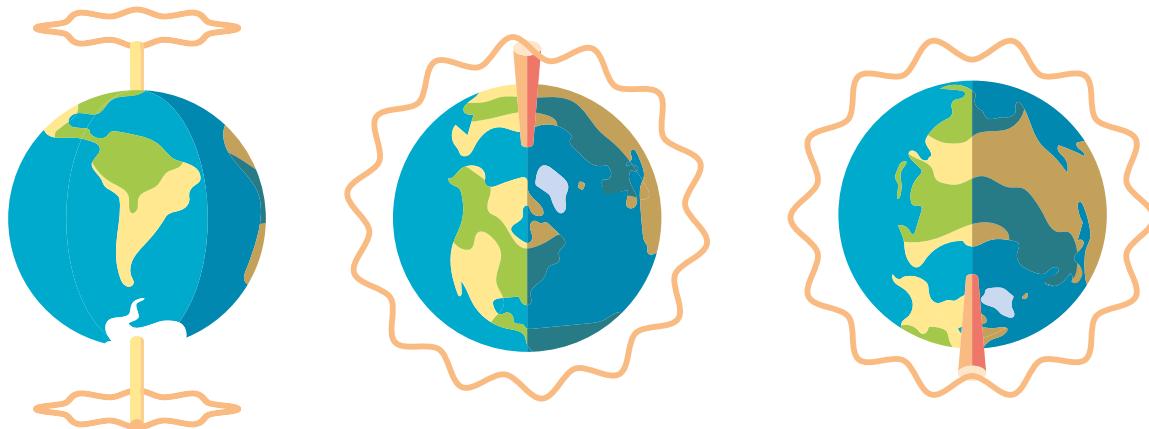
---

8 · Los planetas también ejercen influencia y añaden pequeñas perturbaciones a la nutación que se generaría solo por la Luna y el Sol.

Precesión



Nutación



### *Algo más sobre las mareas*

Existe una fuerza que se conoce como fuerza de marea y nace debido a que la fuerza de gravedad se hace más débil mientras más se alejan las cosas. Esta diferencia en la distancia hace también una diferencia en la atracción de gravedad entre dos puntos, haciéndola máxima en la parte más cercana y mínima en la parte opuesta. Por esta razón la fuerza de marea se “desvanece” muy rápido, pero es fuerte cuando la separación entre los cuerpos involucrados es pequeña.

Por ejemplo, en el caso de la Tierra con la Luna, decimos que su distancia es, en promedio, 384 000 km, pero eso es medido desde el centro de la Tierra al centro de la Luna. Si medimos desde la superficie (restando la distancia entre el centro y esta última), la Luna estará 6700 km más cerca, mientras que quienes están al lado opuesto de la Luna estarán 6700 km más lejos respecto del centro de la Tierra.

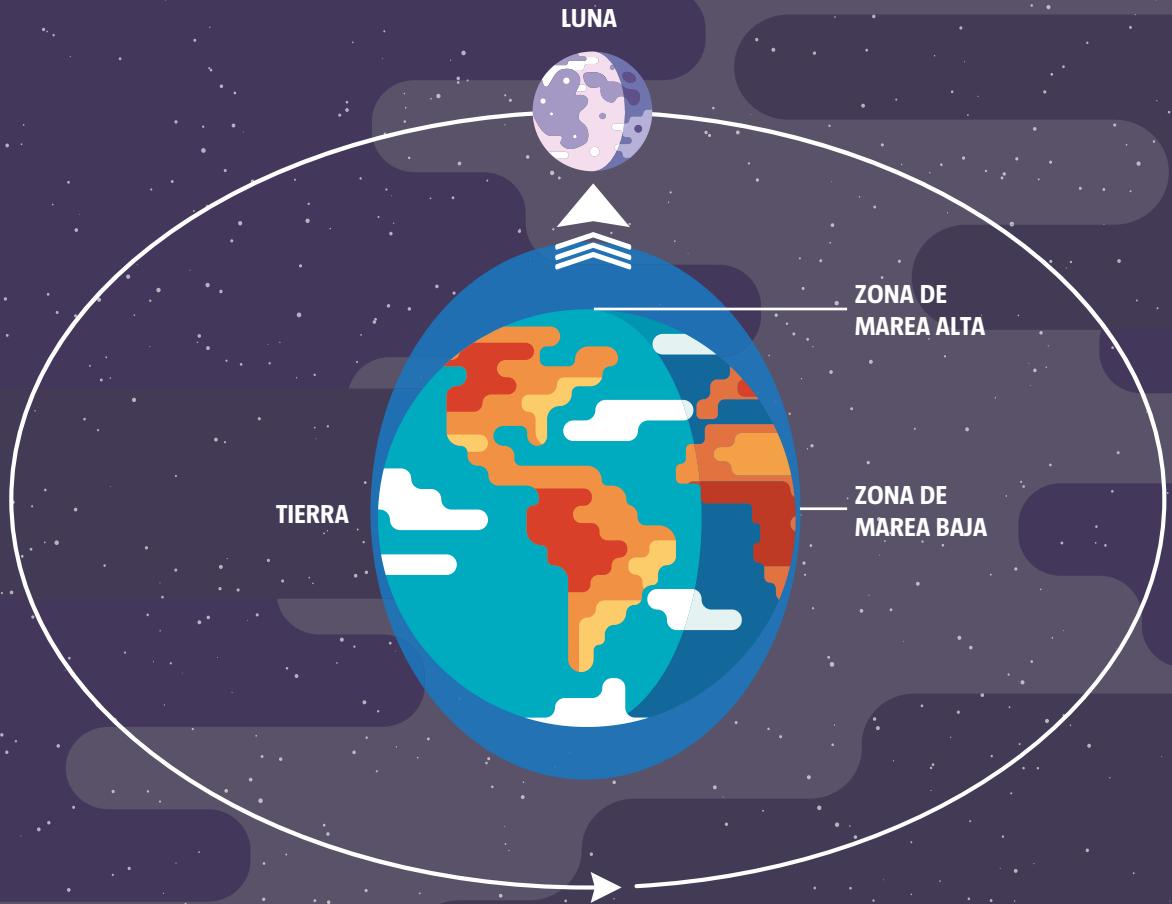
Como hemos visto, la gravedad y la fuerza de marea decaen con la distancia. Por ejemplo, si aumentamos la distancia entre dos objetos al doble, la fuerza

de gravedad disminuye cuatro veces, mientras que la fuerza de marea disminuye a la octava parte. Si aumentamos la distancia entre los objetos cinco veces, la gravedad decae 25 veces, mientras que la fuerza de marea 125 veces!

Luego, podemos afirmar que la fuerza de gravedad decae con la distancia al cuadrado, mientras que la fuerza de marea decae con la distancia al cubo. Por esta razón, la parte de la Tierra que está directamente hacia la Luna siente una mayor atracción, las partes que están al medio sienten una fuerza “neutra”, mientras que la parte más alejada siente la menor atracción. Por lo mismo, las mareas altas se producen en la parte que mira directo a la Luna y en la parte diametralmente opuesta.

Es importante recordar que la fuerza de marea no es ajena a la gravedad y es solo consecuencia de esta última actuando sobre objetos con un tamaño.

# FUERZAS DE MAREA CAUSADAS POR LA GRAVEDAD DE LA LUNA



## CÁLCULOS PARA ENTUSIASTAS DE LA ASTRONOMÍA Y LAS MATEMÁTICAS

**1 · La Luna y el Sol parecen ser casi del mismo tamaño, es por ello que se producen eclipses totales y anulares. Si se conocen los tamaños del Sol y la Luna ¿se puede saber a qué distancia de la Tierra se encuentra cada uno?**

**2 · ¿A qué distancia debe encontrarse la Luna de la Tierra para que se produzca un eclipse total y uno anular? ¿Depende de la distancia Tierra-Sol?**

### Desarrollo

La Tierra describe una órbita elíptica (casi circular) en torno al Sol, al igual que la Luna en torno a la Tierra.

Las distancias mínima y máxima de la Tierra al Sol son 147 y 152 millones de kilómetros respectivamente, y el Sol tiene un diámetro de 1 391 400 km.

Para la Luna, las distancias mínimas y máximas a la Tierra son 356 500 y 406 700 km, y la Luna tiene un diámetro de 3474.2 km.

Con estos números podemos calcular los tamaños angulares (el tamaño aparente que vemos en el cielo medido en grados) usando la siguiente relación matemática:

Tamaño angular =  $\text{tangente}(\text{diámetro} / \text{distancia})$

Si reemplazamos los valores recién mencionados encontramos que los tamaños angulares son:

· Tamaño máximo del Sol (cuando está a menor distancia) = 32.54 minutos de arco ( $0.54^\circ$ ).

· Tamaño mínimo del Sol (cuando está a mayor distancia) = 31.47 minutos de arco ( $0.52^\circ$ ).

· Tamaño máximo de la Luna = 33.50 minutos de arco ( $0.56^\circ$ ).

· Tamaño mínimo de la Luna = 29.37 minutos de arco ( $0.49^\circ$ ).

Podemos ver que si la Luna se encuentra a una mínima distancia de la Tierra, no importa a qué distancia se encuentre la Tierra del Sol, si se dan las condiciones de eclipses, se verá un eclipse total. Mientras que si la Luna está a su mayor distancia de la Tierra nunca podrá producirse un eclipse total, solo anular (y parcial), independiente de la distancia Tierra-Sol.

Para todos los demás puntos intermedios, es necesario revisar caso a caso las distancias relativas de los tres cuerpos.

### 3 · ¿En cuánto tiempo más se dejarán de producir eclipses?

Para que nunca más se produzca un eclipse tenemos que colocarnos en el peor de los escenarios. Aun cuando la Luna esté lo más cerca de la Tierra y la Tierra lo más alejada del Sol, la Luna se ve más pequeña que el Sol.

Supondremos que ambos no cambian de tamaño, que la órbita de la Tierra se mantiene constante y solo la Luna se está alejando.

En este caso, el tamaño mínimo del Sol es 31.47 minutos de arco y para que no se den más eclipses la condición es que la Luna, en su máximo tamaño, sea menor que eso.

Luego:

Tamaño angular =  $31.47 = 0.54^\circ = \text{tangente}(\text{diámetro} / \text{distancia})$ .

¿Y cómo sabemos el tamaño de la Luna (diámetro)?

$$\text{Arco tangente}(0.54^\circ) = \frac{3474.2 \text{ km}}{\text{distancia}}$$

$$0.0091 = \frac{3474.2 \text{ km}}{\text{distancia}}$$

$$0.0091 = \frac{3474.2 \text{ km}}{\text{distancia}} = 379.530 \text{ km}$$

¡A esta distancia, la Luna no será capaz de eclipsar por completo al Sol!

Si asumimos que la Luna se seguirá alejando a 3.8 cm por año como lo hace en la actualidad, tendrían que pasar 715 millones de años para que no podamos observar nunca más un eclipse total de Sol. Esto será cierto, incluso cuando la Luna esté a la mínima distancia de la Tierra y la Tierra a la mayor distancia del Sol (es decir, la Luna sea lo más grande posible y el Sol lo más pequeño posible).

Aunque, en realidad, el proceso es un poco más complejo, ya que a medida que la Luna se aleje de la Tierra, las mareas serán ligeramente más débiles y, por consiguiente, la Luna se alejará más lentamente, lo cual aumentaría el tiempo que tenemos para seguir viendo eclipses totales. Pero, por otro lado, en esa escala de tiempo, el Sol no se mantendrá del mismo tamaño, es más, crecerá ligeramente, contrarrestando el efecto producido por el hecho que la Luna se aleje más lento. Como consecuencia, el cambio en el tamaño del Sol acelerará el proceso para que, en unos 500 millones de años, nos quedemos sin eclipses totales.





***OTRAS FORMAS  
DE ECLIPSES: TRÁNSITOS  
Y OCULTACIONES***

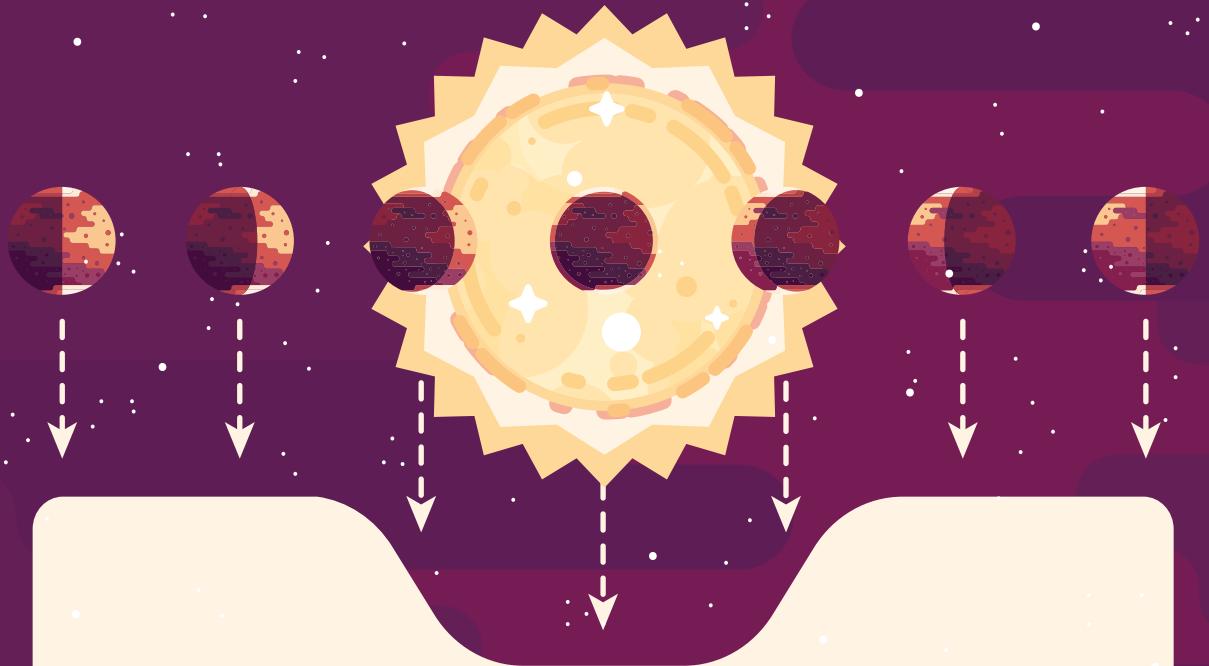
Ya comentamos que existen otro tipo de eclipses que no están relacionados con la Luna y el Sol, sino más bien con las estrellas lejanas.

El 50% de las estrellas son sistemas dobles o de más estrellas. El Sol, sin embargo, no tiene un compañero estelar, solo planetas. Las estrellas dobles pueden tener distintas separaciones u órbitas y estas están orientadas de forma aleatoria en el cielo. Dado que hay tantas estrellas en nuestra galaxia, algunas de esas estrellas binarias orbitan en un plano que está muy alineado con la Tierra, entonces, en cierta parte de su órbita, una estrella pasa por delante de la otra y tapa el brillo de la que queda atrás. A estas estrellas dobles se les denomina **estrellas binarias eclipsantes**. Un ejemplo histórico de ellas es la estrella Algol, la segunda más brillante de la constelación de Perseo, cuyo nombre proviene del árabe y significa literalmente estrella endemoniada (de Ras Al-gul). Al ver el cambio periódico de brillo de esta estrella debido a sus eclipses, los astrónomos árabes interpretaron que se debía a poderes diabólicos, dada su concepción de un cielo inmutable<sup>9</sup>.

---

9 · Paradójicamente, astrónomos occidentales, con una visión del cielo parecida, observaron cambios de brillo en la estrella Mira (no debido a eclipses sino a cambios en su temperatura y su tamaño). El nombre Mira viene del latín y significa maravillosa. Una curiosa diferencia en la forma en que ambas culturas percibieron y denominaron un fenómeno astronómico.





**BRILLO OBSERVADO  
DESDE LA TIERRA**

La importancia de las estrellas binarias eclipsantes es que al estudiarlas en detalle, nos permiten, por ejemplo, calcular el radio de las estrellas y su brillo y, combinando otras mediciones con instrumentos especializados, podemos medir sus masas. Todo esto con el propósito de entender mejor cómo se forman y evolucionan.

### ¿SABÍAS QUE...

*...los sistemas múltiples, con más de tres estrellas, son poco comunes, pero existen dos sistemas que tienen siete estrellas? Son Nu Scorpii y Ar Cassiopeiae.*

Además de los eclipses de estrellas lejanas, existen dos fenómenos similares a un eclipse: las **ocultaciones** y los **tránsitos**.

## OCULTACIONES

En nuestro sistema solar existen, además de los planetas, miles de asteroides, cometas y objetos lejanos más allá de la órbita de Neptuno, denominados **objetos transneptunianos**. El mejor ejemplo y más grande de estos objetos es Plutón y sus lunas, pero existen muchos otros en lo que se conoce como el cinturón de Kuiper.

En ciertas ocasiones, estos objetos pasan entre una estrella lejana y nosotros y bloquean la luz de la estrella. Este fenómeno se llama **ocultación** y es la mejor manera de estudiar la forma del objeto transneptuniano que está ocultando la luz de la estrella. En el caso de los planetas no es muy ventajoso realizar mayor estudio, ya que son demasiado grandes y podemos saber su tamaño usando telescopios y sondas. Mientras que para los cuerpos pe-

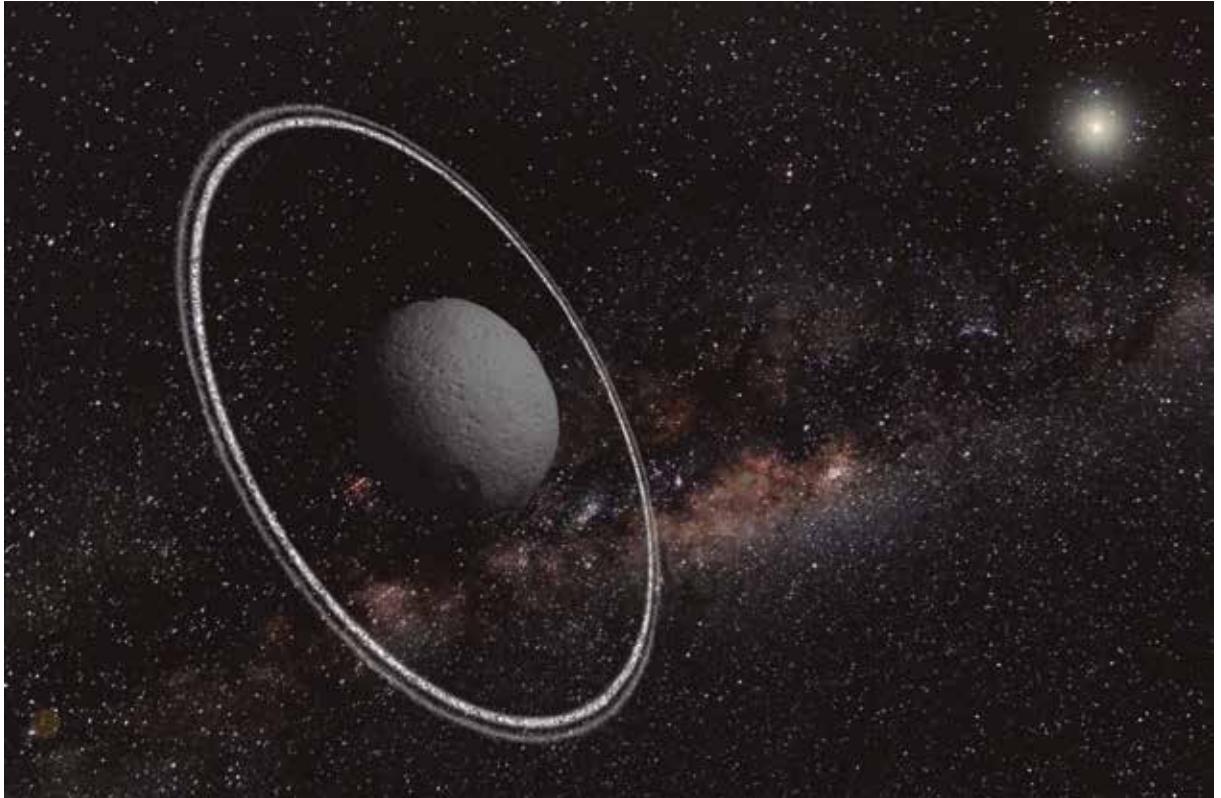
queños, como algunos asteroides u objetos transneptunianos del cinturón de Kuiper, es muy útil.

Para poder estudiar los objetos transneptunianos tenemos que conocer muy bien sus órbitas, esta es la única forma que tenemos de poder predecir cuándo pasarán entre nosotros y una estrella. Con los cálculos hechos determinaremos desde qué partes de la Tierra se podrán observar (como son pequeños, no toda la Tierra puede observar la ocultación). Generalmente, cuando se reconoce este fenómeno, se genera una alerta astronómica para que todos los observatorios y observadores aficionados puedan seguir el evento.

Ahora bien, como el objeto es pequeño, las observaciones hechas desde distintas partes de la Tierra tienen diferentes visiones y la duración de la ocultación varía dependiendo de dónde estemos mirando. Para retratar mejor la forma del objeto y su tamaño, lo que se hace es juntar todas las observaciones, incluyendo la posición de los observadores, y analizar cómo fue el proceso en cada caso.

En principio esto parece fácil, pero hay que considerar que las ocultaciones solo duran unos pocos minutos o incluso segundos, por lo que se necesitan telescopios con cámaras capaces de tomar muchas imágenes en corto tiempo.

Entre los hallazgos más interesantes logrados gracias a la observación de estas ocultaciones destaca el descubrimiento de **objetos transneptunianos binarios** o **asteroides con anillos**. ¡Una versión miniatura de Saturno!



Representación de Chariklo, objeto tipo asteroide también conocidos como Centauros. Ilustración de Lucie Maquet.

## TRÁNSITOS

Los ocho planetas del sistema solar orbitan al Sol prácticamente en un mismo plano, con diferencias muy pequeñas entre uno y otro, y todas las órbitas van en el mismo sentido. Además, de estos ocho planetas, seis rotan sobre su propio eje en la misma dirección de su órbita (las excepciones son Venus y Urano). Todo esto tiene lógica si los planetas se formaron originalmente en un disco protoplanetario hace unos 4500 millones de años.

La Luna también está “casi” alineada en este mismo plano, pero existe una leve inclinación de tan solo 5° con respecto al plano en que la Tierra orbita al Sol (llamado eclíptica). Parece poco, pero es lo suficiente para que en vez de tener un eclipse solar y uno lunar cada mes, tengamos, en promedio, un eclipse total de Sol cada dieciocho meses, como ya hemos visto.

Existen, también, ocasiones en que Venus o Mercurio pasan frente al Sol y podemos verlo con telescopios adecuados. Debido a la gran distancia que separa a la Tierra de estos dos planetas, ellos no logran eclipsar al Sol por completo y solo bloquean una parte pequeña de su luz, por lo que reciben el nombre de **tránsitos**.

Los planetas externos (que están de la Tierra hacia afuera), o sea, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, nunca van a estar entre la Tierra y el Sol, por lo que nunca producirán un tránsito.

Hay además otros tránsitos muy interesantes. Hoy sabemos que es común que las estrellas tengan planetas, los que se conocen como exoplanetas o planetas extrasolares. Tanto es así que debería haber más planetas que estrellas en nuestra galaxia.

Al igual que con las estrellas binarias eclipsantes, algunos de estos sistemas exoplanetarios podrían tener una órbita alineada con la Tierra. En estos casos, la luz que viene de la estrella a la cual orbitan es parcialmente bloqueada por los planetas. A diferencia de las estrellas binarias en las que el cambio en la luz que recibimos es grande, en el caso de los tránsitos planetarios, las variaciones pueden ser de una centésima si se trata de un planeta como Júpiter y unas pocas millonésimas para el caso de un planeta como la Tierra.

Aunque no es algo fácil de percibir, pues estamos hablando de detectar una luciérnaga junto a un foco de estadio ubicado a cientos de kilómetros de distancia, gracias a telescopios y cámaras especialmente diseñadas para medir estos cambios, es posible hacerlo. De hecho, la mayor cantidad de planetas se han encontrado justamente haciendo estas mediciones, tanto desde telescopios en la Tierra como espaciales.

El telescopio espacial Kepler, actualmente la misión espacial TESS y, en el futuro cercano la misión espacial PLATO, han sido y serán los responsables de descubrir nuevos planetas, como la Tierra, orbitando a otras estrellas y acercando un paso más a la humanidad en la búsqueda de otra posible Tierra donde exista vida pues, a pesar de todos los avances, la pregunta más importante que aún queda por responder es: ¿hay vida más allá de nuestro planeta?





VI

***LOS ECLIPSES EN OTRAS  
COSMOVISIONES***

Desde la Tierra tenemos una vista privilegiada de la Luna. Durante milenios, en el cielo solo contemplábamos las nubes, las auroras, la Luna, el Sol y seis planetas: Tierra, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. También se veían las estrellas “fijas”, una que otra vez la aparición de estrellas fugaces, cometas y estrellas “nuevas” o novas, y supernovas que, tras un gran brillo repentino, desaparecerían para siempre. Casi todos los cambios ocurridos en el cielo eran percibidos como problemáticos o malos augurios, especialmente en el caso de fenómenos que involucraban a la Luna y al Sol, en especial los eclipses.

Existen relatos y mitos sobre los eclipses en prácticamente todas las culturas y en los cinco continentes. A través de estas narraciones podemos apreciar tanto las diferencias culturales, como las sociales. Sin embargo, antes de cuestionar dichas creencias, recordemos lo que el Sol y

la Luna representan. El Sol nos da su energía y calor y, por ende, es esencial para todo aspecto de la vida. Desde hace miles de años se observa su posición con respecto a las estrellas, para plantar y cosechar. La Luna, por otro lado, alumbra de noche y es especialmente valorada en sus etapas más luminosas en lugares con mucho calor, ya que permite realizar las labores agrícolas y ganaderas de forma nocturna, evitando el calor del día. Con esto en mente, muchos pueblos veneraban a estos objetos celestes, incluso como el más importante de los dioses en algunas culturas. Gracias a la observación de fenómenos que se repetían, intentaban dar explicaciones basados en sus vivencias o conocimientos. Actualmente, hacemos algo parecido pues intentamos explicar los fenómenos observados con leyes físicas y matemáticas.



## ASIA

En la antigua Babilonia (hoy Iraq) los astrólogos<sup>10</sup> lograron un amplio conocimiento astronómico y capacidad predictiva de los eclipses. Para ellos, estos eventos venían acompañados de desgracia, en particular de la muerte del rey o de su familia. Para evitar que el monarca muriese debido a esto, se le escondía a él y sus herederos. En su reemplazo se ubicaba a otras personas que recibían los tratos reales correspondientes pero a cambio debían sacrificar sus vidas tras el eclipse, para evitar la condenación sobre el monarca y la familia real. Hoy, no sería un trabajo que muchas personas estuvieran dispuestas a realizar.

En el hinduismo encontramos a dos tipos de semidioses, los suras y los asuras. Se cuenta que en un comienzo los suras gobernaban el universo, pero estos fueron maldecidos luego que Indra (el rey de los cielos) insultara a Durvasa, el gran sabio. Esto precipitó que los asuras tomaran el control en la batalla “entre el bien y el mal”. Luego, en un intento por recuperar su poder, los suras consultaron con al dios Vishnu, quien les habría recomendado conseguir el elixir de la inmortalidad ubicado en el fondo del océano de leche. Para poder conseguirlo, sin embargo, debían juntar fuerzas con los asuras. Estos aceptaron, tentados por el deseo de la inmortalidad, aunque ambos planeaban utilizarlo para su propio beneficio. Para hacerse del ansiado néctar debían luchar contra el rey de las

serpientes, Vasuki, a quien doblegaron en conjunto, y luego de esto el elixir de la inmortalidad llegó a la superficie.

Los asuras lo tomaron primero y huyeron, luego los suras se acercaron una vez más a Vishnu y pidieron ayuda. En respuesta, el Dios tomó la forma de Mohini, una mujer hermosa, y engañó a los asuras para que le dieran el brebaje y ella dividirla. Encandilados, los asuras cedieron y no titubearon al ser alineados en filas distintas y ver a Mohini verter el elixir en la boca de los suras. Uno de los asuras, llamado Svarbhanu, se dio cuenta y se cambió de fila para recibir la inmortalidad; el Sol y la Luna notaron de esto y advirtieron a Mohini pero ya era demasiado tarde, ya le había dado el elixir. Rápidamente, Vishnu tomó su espada (chakra) y cortó su cabeza antes de que tuviera la oportunidad de tragar el contenido, pero como la cabeza ya había tenido contacto con el néctar de la inmortalidad, vivió sin su cuerpo y fue conocida como Rahu, mientras que al cuerpo se le conoce como Ketu. Se cree que Rahu quedó viviendo en el nodo ascendente de la Luna y Ketu en el descendente.

Es por ello que cuando ocurre un eclipse se dice que Rahu se come o devora al Sol o la Luna, pero debido a que no tiene cuerpo, este vuelve a salir. Este acto sería en venganza por haber avisado a Vishnu de sus intenciones.

---

10 · A diferencia de la astronomía, que estudia el comportamiento y funcionamiento de los astros de acuerdo con leyes y teorías físicas demostrables, la astrología da explicaciones de los movimientos o eventos basados en los designios de dioses o fuerzas sobrenaturales.



En Vietnam, se cree que el Sol es devorado por una rana o sapo, mientras que en China la explicación de los eclipses está relacionada con un dragón que engulle al Sol. Es interesante que la palabra para eclipse en chino es *Shih*, que significa, literalmente, comer.

En la antigua China existía una tradición que duró milenios y consistía en arrojar flechas con fuego para ahuyentar a la Luna por miedo a que el Sol nunca más volviera a brillar. De hecho, en el siglo XIX, marineros chinos fueron vistos disparando cañones al eclipse con la esperanza de evitar que el dragón (Luna) se comiera al Sol.

## EUROPA

En la tradición nórdica los eclipses son resultado de la pelea de dos lobos en el cielo, llamados Skoll y Hati, quienes siempre están persiguiendo a la Luna y al Sol, respectivamente. Cuando los atrapan llega la oscuridad y el color rojo, que se ve sobre la Luna durante el eclipse lunar, serían salpicaduras de sangre que la cubren porque Skoll ya le ha enterrado sus dientes.

En Alemania, los roles femeninos y masculinos atribuidos a la Luna y el Sol son diferentes, aunque la razón para ello no es muy clara. El mito dice que la floja y fría Luna (masculino) durante el día ignora a la ardiente Sol (femenino), excepto en los fugaces momentos de pasión durante un eclipse de Sol. Después de una disputa menor, este vuelve a brillar.

## ÁFRICA

En algunas regiones del oeste de África se cree que el Sol (masculino) y la Luna (femenina) entran en una relación romántica y que durante el eclipse apagan las luces para tener mayor intimidad.

Asimismo, con respecto a este fenómeno, los habitantes de la región de Batammariba (Togo y Benín) creen que durante los eclipses la Luna y el Sol están en una pelea y las personas instan a ambos a que dejen de pelear. Parte de ello involucra dar el ejemplo, razón por la que durante los eclipses se hacen las paces o se resuelven distintos conflictos entre familias o de otro tipo, incluso aquellos que podrían haber sido arrastrados por años.

En Egipto antiguo se creía que los faraones eran descendientes directos del dios Sol y, por ende, sus representantes en la Tierra. Durante un eclipse solar, el faraón caminaba en torno al principal templo de Osiris hasta que el evento terminaba. La idea detrás de esto era que el Sol debía moverse de forma continua y cuando comenzaba a ser oscurecido, su representante humano debía hacer lo que estuviese en su poder para regular los movimientos en el cielo. Este rito también se encuentra en la cultura china, en la que el emperador o gobernante también era descendiente del Sol y se paseaba por fuera del templo.

Entre los diversos relatos encontramos a los incas, quienes pensaban que los eclipses lunares eran causados por un jaguar que se devoraba a la Luna y la teñía de sangre. Una vez terminado el proceso, el animal bajaba a la Tierra a seguir comiendo. Para prevenir este ataque, los incas se juntaban, hacían mucho ruido y golpeaban a los animales, principalmente a los perros, para que aullaran y así el jaguar se asustara y los dejara tranquilos.

En una tribu del norte de California, en Estados Unidos, llamada Hupa, creían que la Luna tenía múltiples esposas y animales como mascotas, entre ellos serpientes y pumas. Si la Luna no traía suficiente alimento, estos la atacaban y herían, lo que explicaba su color rojizo, característico de un eclipse lunar. Entonces, llegaban las esposas, quienes curaban a la Luna. El eclipse terminaba con ellas limpiándola y recogiendo su sangre.

Por otro lado, los esquimales creían que durante los eclipses, tanto la Luna y como el Sol, habían adquirido algún tipo de enfermedad y que por eso su brillo disminuía y se apagaba. Para no contagiarse de los astros, se protegían y abrigan, y también cubrían las cosas de valor cuidando que no se extendiera el supuesto mal.

En el caso de las culturas precolombinas del sur de América, del actual Chile y Argentina, encontramos a los mapuche. Para este pueblo, el Sol físico y el ser espiritual siempre van juntos; de hecho juega un rol muy importante y constantemente está presente en las rogativas. Con respecto a los eclipses, se refieren a ellos como *malonji ta Antü* (vinieron a tapar el Sol) y los ven como señales de malos augurios, pues lo interpretan como un abatimiento del Sol a manos de la oscuridad. Ante esto, quienes viven el eclipse hacen rogativas

dedicadas al Sol con cantos en los que se le pregunta si puede volver a vivir para que ilumine al mundo y no los abandone.

En general, los mitos y creencias en distintas partes del mundo tienen una similitud: generan miedo, esto debido al cambio repentino de los astros más visibles y que más impactan nuestras vidas, aunque también se notan diferencias muy marcadas por el entorno y los peligros que acechan.

Incluso hoy, que sabemos que la Luna es una gran roca y el Sol una bola gigante de plasma, hay personas que deciden no salir de su casa o no mirar un eclipse por temor. Otros mitos urbanos señalan que es peligroso para las embarazadas estar al aire libre durante un eclipse o que es más dañino mirar al Sol durante un eclipse que en otro momento. A pesar de que no existen razones que justifiquen estas suposiciones, son las creencias que suelen transmitirse de generación en generación.



## VII *ECLIPSES EN CHILE: 2019 Y 2020*

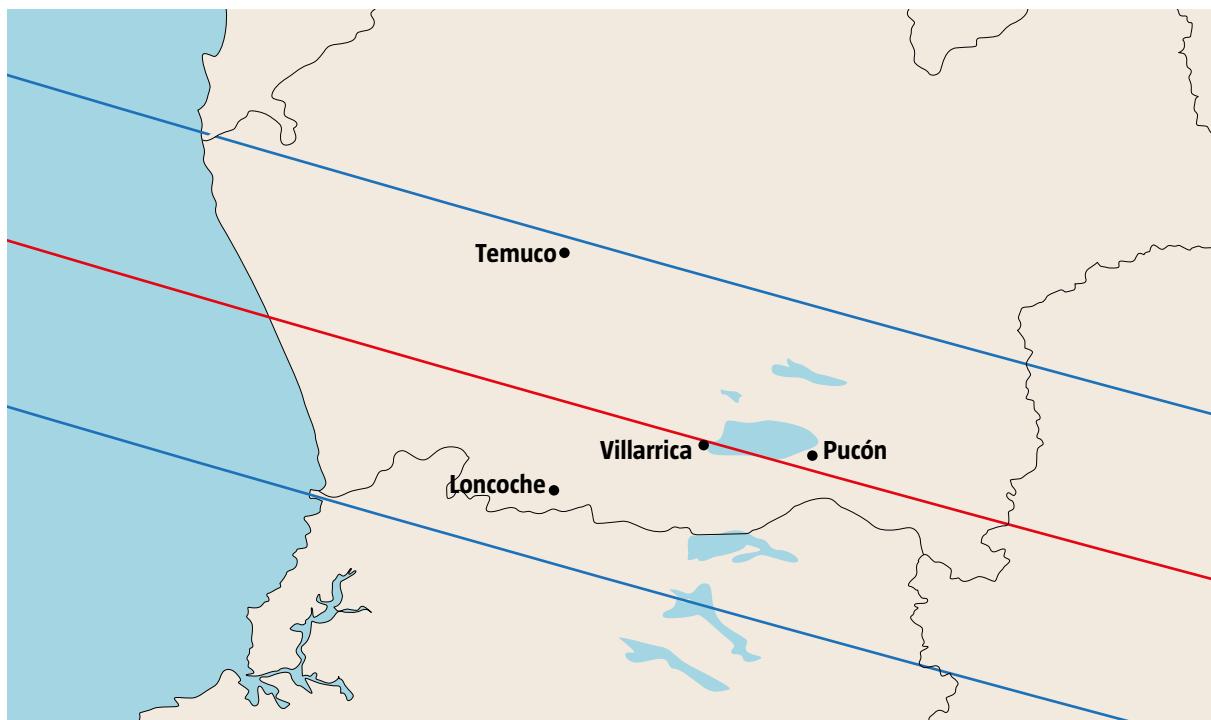
Chile y Argentina serán testigos de dos eclipses totales de Sol durante los años 2019 y 2020. A continuación, en los mapas puedes ver los puntos exactos dónde se verá este fenómeno. La línea roja marca la trayectoria central y de mayor duración. Las líneas azules marcan los límites desde los cuales se verá el eclipse total. Fuera de esa región se tendrá un eclipse parcial de Sol.



En la Región de Coquimbo, el último eclipse total de Sol se vio en 1893, hace 126 años, mientras que La Araucanía ha tenido que esperar desde 1467 para volver a presenciar este fenómeno.

En el caso de Chile, el último eclipse total de Sol se vio en Isla de Pascua en 2010. Ahora, tras los eclipses de

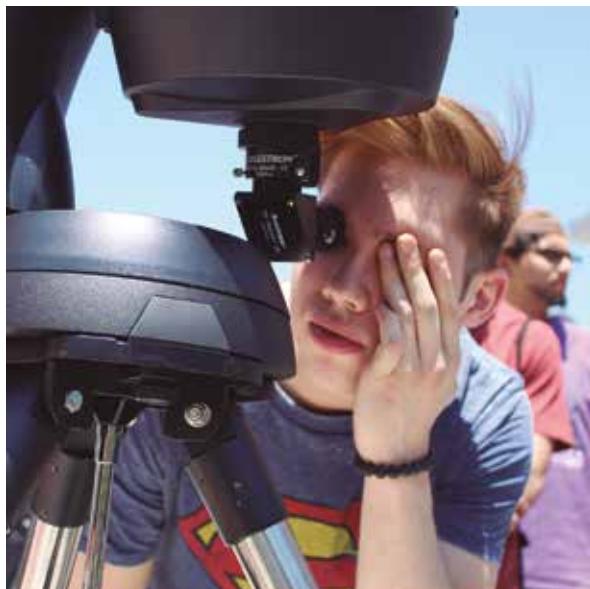
este año (2019, Coquimbo) y los dos que vienen (2020, La Araucanía y 2021, Antártica), tendremos que esperar hasta el año 2048, donde, desde la Región de Aysén, se podrá apreciar un nuevo eclipse total de Sol.



## VIII *OBSERVANDO ECLIPSES DE FORMA SEGURA*

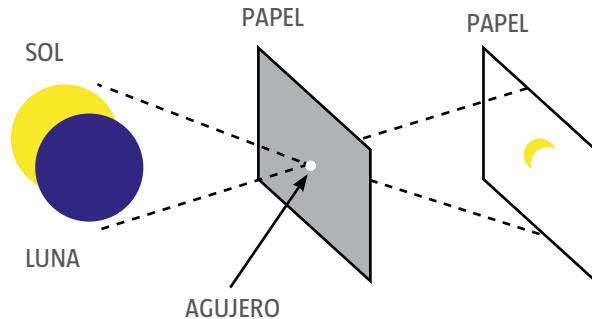
Los eclipses lunares pueden observarse sin ninguna medida de seguridad, por lo que esta sección estará centrada en los eclipses solares.

Mirar directamente al Sol es dañino para nuestra vista. Es tan alto el brillo, que nuestra retina puede dañarse de forma irreversible. Por ello, si queremos ver directamente al Sol, debemos hacerlo con los implementos adecuados. Luego, durante el eclipse total de Sol, no es necesario usar ninguna protección, se puede mirar directamente sin lentes y NO es dañino, pero antes de la totalidad e inmediatamente después, tenemos que protegernos.



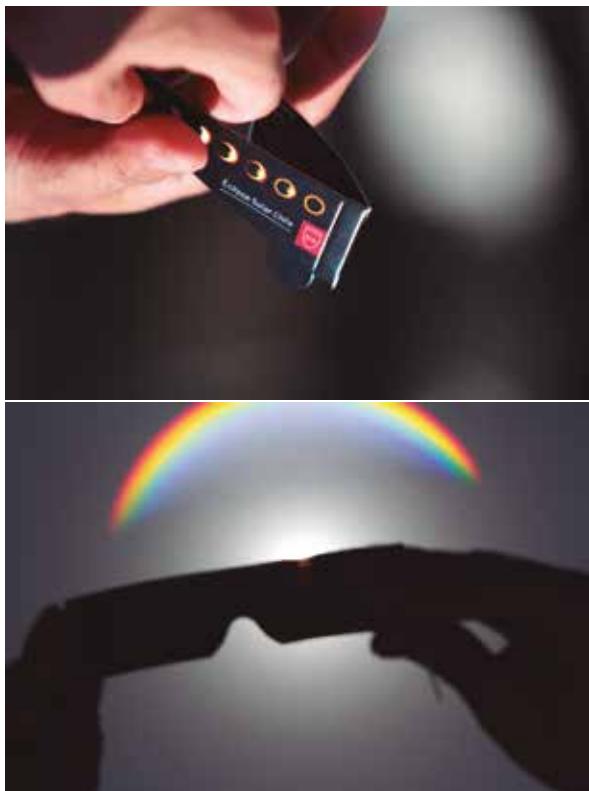
### **MIRAR AL SOL DE FORMA INDIRECTA**

La manera más segura de observar el Sol es hacerlo de forma indirecta. Para esto puedes tomar una hoja de papel cualquiera y hacerle un pequeño agujero redondo (de 0,5 mm, por ejemplo). Luego, apuntar al Sol y ver cómo la luz atraviesa el orificio proyectándose en otra superficie, que puede ser otra hoja, una pared, el suelo, etcétera. Mientras más cerca, se verá más pequeño pero más intenso. Si lo alejas, se verá más difuso pero más grande.



## MIRAR AL SOL DE FORMA DIRECTA (Y SEGURA)

Para mirar al Sol de forma directa hay varias opciones, con o sin aumento. En el caso de no usar aumento podemos conseguir lentes especialmente diseñados para este fin. Es sumamente importante que estos sean certificados, ya que para evitar daños en la retina debes asegurarte que los lentes filtren más del 99.999% de la luz solar.



Si decides ver el Sol con aumento puedes hacerlo a través de binoculares o telescopios equipados con filtros especialmente diseñados para mirar el Sol. Hay dos tipos de filtros:

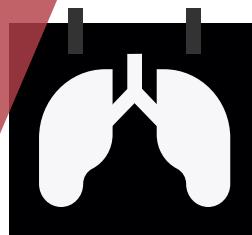
- 1 · Filtros “grises” o de densidad neutral, que bloquean toda la luz por igual y generan una vista del Sol parecida a la que consigues con unos lentes. Puedes ver el Sol un poco más grande y quizás distinguir sus manchas solares.
- 2 · Filtros de banda angosta, en particular filtro de hidrógeno alfa, que bloquea toda la luz, salvo un color rojizo muy particular que permite destacar la cromósfera solar, las manchas solares, las erupciones o fulguraciones y la granulación. Los telescopios equipados con estos filtros son ideales para observar el Sol en todo momento, pero no generan mayor ventaja durante un eclipse.



Al mismo tiempo, aunque de forma totalmente irresponsable, se ha sugerido usar CD, radiografías, vidrios ahumados, lentes de Sol, lentes polarizados, el disco interior de los antiguos diskettes, cintas de casetes, papel aluminio, entre otros. Lo cierto es que ninguno de estos elementos permite observar de forma directa y segura el Sol, pues la cantidad de luz que pasa a través de ellos puede producir daños irreversibles en la vista.

## ***NO USAR***

- CD***
- RADIOGRAFÍAS***
- VIDRIOS AHUMADOS***
- LENTES DE SOL***
- LENTES POLARIZADOS***
- EL DISCO INTERIOR DE  
LOS ANTIGUOS DISKETTES***
- CINTAS DE CASETES***
- PAPEL ALUMINIO***



Observar un eclipse total de Sol es una experiencia inolvidable. Como vimos en la sección anterior, estos son fenómenos relativamente comunes en el mundo, pero no siempre se pueden ver desde alguna ciudad, ya que hay veces que se observan en los polos o en la mitad del océano. Por ello, cuando es visible en Tierra firme miles de personas se desplazan para apreciarlos.

ECLIPSES VISIBLES DESDE CHILE EN EL SIGLO XXI		
Fecha	Región	Duración máxima
11 de julio 2010	Valparaíso (Isla de Pascua) y Magallanes y de la Antártica Chilena	5 min 20 s
02 de julio 2019	Coquimbo y Atacama	4 min 32 s
14 de diciembre 2020	La Araucanía y Los Ríos	2 min 10 s
4 de diciembre 2021	Magallanes y de la Antártica Chilena	1 min 54 s
5 de diciembre 2048	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Los Lagos	3 min 28 s
12 de agosto 2064	Valparaíso, Metropolitana y Libertador Bernardo O'Higgins	4 min 28 s
3 de agosto 2073	Magallanes y de la Antártica Chilena	2 min 29 s
16 de enero 2075	Coquimbo	2 min 42 s

\*Los eclipses del 20 de abril de 2023 y 14 de noviembre de 2031 serán "híbridos", es decir, desde algunos lugares se verán como eclipse total, mientras que en otros se verán solo como uno anular.

\*Datos obtenidos desde <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html>

FECHAS Y LUGARES DE LOS PRÓXIMOS ECLIPSES TOTALES DE SOL HASTA 2040		
Fecha del eclipse	Lugar	Duración máxima
2 de julio 2019	Chile y Argentina	4 min 33s
14 diciembre 2020	Chile y Argentina	2 min 10s
4 de diciembre 2021	Antártica	1 min 54s
20 de abril 2023 *	Indonesia, Australia, Papua Nueva Guinea	1 min 16s
8 de abril 2024	México, EEUU, Canadá	4 min 28s
12 de agosto 2026	Ártico, Groenlandia, Islandia, España	2 min 18s
2 de agosto 2027	Marruecos, España, Argelia, Libia, Egipto, Arabia Saudi, Yemen, Somalia	6 min 23s
22 de julio 2028	Australia, Nueva Zelandia	5 min 10s
25 de noviembre 2030	Botswana, Sudáfrica, Australia	3 min 44s
14 de noviembre 2031*	Panama	1 min 08s
30 de marzo 2033	Rusia, Alaska	2 min 37s
20 de marzo 2034	Nigeria, Camerún, Chad, Sudan, Egipto, Arabia Saudi, Irán, Afganistán, Pakistán, India, China	4 min 09s
2 de septiembre 2035	China, Corea, Japón	2 min 54s
13 de Julio 2037	Australia, Nueva Zelandia	3 min 58s
26 de diciembre 2038	Australia, Nueva Zelandia	2 min 18s
15 de diciembre 2039	Antártica	1 min 51s

# AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Chile y, en particular, al vicerrector de Investigación y Postgrado, Iván Suazo, por el espacio y la confianza para desarrollar este libro.

A José Utreras, por sus excelentes ilustraciones y comentarios, que hicieron posible visualizar de manera sencilla algunas ideas complejas.

A Julio Barahona, por su atenta lectura y agudas opiniones al comienzo de esta tarea.

En especial, agradezco profundamente al equipo de trabajo del Centro de Comunicación de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Chile y a Isidora Sesnic, por la dedicación a este trabajo, sus acotaciones, constantes discusiones, paciencia y múltiples correcciones producto de los yerros que un descuidado astrónomo comete constantemente.

Finalmente, agradezco infinitamente a las cuatro personas que me motivan cada día: mi esposa Lilian, mi hijo Dante, mi madre Karin y mi hermana Valeska. Su cariño y apoyo son valorados por sobre cualquier cosa que este mundo pueda ofrecer.

Chile es capital mundial de la astronomía. Los observatorios más avanzados del mundo investigan el cielo del sur para encontrar nuevos planetas y galaxias distantes, y aportar con pistas para responder preguntas como de dónde venimos, hacia dónde vamos o si hay vida en otros lugares del universo.

Haciendo eco del interés ciudadano por esta disciplina, el Centro de Comunicación de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Chile, pone a disposición de la comunidad un libro que aborda con precisión detalles sobre algunos de los astros más relevantes de nuestra vida: el Sol, la Tierra y la Luna, haciendo hincapié en unos de los fenómenos más interesantes y fascinantes que involucran a estos tres cuerpos celestes: los eclipses.

**Astronomía Ilustrada** fue escrito por el doctor en astrofísica y divulgador científico, Juan Carlos Beamin, y contó con las ilustraciones del también astrónomo -y artista- José Utreras, quien con sus colores le dio vida a este volumen cuyo objetivo central es transformar la astronomía, en particular la ciencia que hay detrás de nuestro Sol, la Luna y la Tierra, en un bien público y al alcance de todas y todos.

**Astronomía Ilustrada** forma parte de la colección Aprende Ciencia y puede descargarse de forma gratuita desde el sitio web [www.uautonoma.cl](http://www.uautonoma.cl).



Centro de Comunicación  
de las **Ciencias**  
Universidad Autónoma de Chile

