

La Academia  
para Jóvenes

# Los retos de la astronomía

Julieta  
**Fierro**





# La **Academia** para **Jóvenes**



**Director de la Colección**  
La **Academia** para **Jóvenes**

Benjamín Barajas

**Editores**

Alejandro García

Édgar Mena

**Cuidado de la edición**

Keshava R. Quintanar Cano

**Corrección de estilo**

Mildred Meléndez

**Diseño**

Julia Michel Ollin Xanat Morales

# Los retos de la astronomía

---

Fierro, Julieta, 1948-

Los retos de la astronomía -- México: UNAM, Plantel Naucalpan, Academia Mexicana de la Lengua, 2019. 132 pp.

(Colección La Academia para Jóvenes).

ISBN: 978-607-02-9490-7 (Obra Completa UNAM).

ISBN: 978-607-30-2620-8 (Volumen UNAM).

ISBN: 978-607-97649-3-7 (Obra Completa Academia Mexicana de la Lengua).

ISBN: 978-607-98305-9-5 (Volumen Academia Mexicana de la Lengua).

Primera edición: noviembre de 2019.

D.R. © UNAM 2019 Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. Alcaldía Coyoacán, CP 04510, CDMX.

D.R. © 2019 Academia Mexicana de la Lengua, Iztaccíhuatl 10, Florida, Alcaldía Álvaro Obregón, CP 01030, CDMX.

ISBN: 978-607-02-9490-7 (Obra Completa UNAM).

ISBN: 978-607-30-2620-8 (Volumen UNAM).

ISBN: 978-607-97649-3-7 (Obra Completa Academia Mexicana de la Lengua).

ISBN: 978-607-98305-9-5 (Volumen Academia Mexicana de la Lengua).

Esta edición y sus características son propiedad de la UNAM. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso en México – Printed in Mexico.

# Julieta Fierro

## Los retos de la astronomía

---





# Índice

---

PROEMIO, Benjamín Barajas	9
PRÓLOGO, Ángel Homero Flores Samaniego	11
INTRODUCCIÓN	19
Los eclipses	27
El movimiento de la Tierra	30
Telescopios y radiación	36
Ejemplos de telescopios	37
La radiación electromagnética	43
La espectroscopia y la composición de los astros	51
Los nuevos sistemas planetarios	56
La búsqueda de vida extraterrestre	64
La vida de las estrellas	74
Las galaxias	79
Distancia a las estrellas	84
La gravitación universal	94
El origen del universo (cosmología)	98
La noción del paso del tiempo	111
El futuro del cosmos	120
Dónde comprar un telescopio	122
Quiero ser astrónomo	124
Conclusión	127





## Proemio

---

LA PROMOCIÓN DE LA LECTURA tiene en México una historia noble y fructífera. Son épicas las cruzadas de José Vasconcelos, Jaime Torres Bodet, Juan José Arreola, Felipe Garrido, entre muchos otros, para incentivar la imaginación, la reflexión y el conocimiento que nos proveen los libros. Sin lectores, las páginas de los libros dejan de respirar, sin lectores pareciera inútil todo esfuerzo de escritura; en la interacción de este binomio arraiga la salud cultural de una nación. De ahí la importancia de **La Academia para Jóvenes**, una colección de ensayos preparada por eminentes miembros de la Academia Mexicana de la Lengua y la Secretaría General de la UNAM —con el apoyo del doctor Leonardo Lomelí Vanegas—, cuyo propósito es contribuir a este profundo e intenso diálogo entre docentes y alumnos del bachillerato universitario.

Benjamín Barajas  
Director de la Colección  
**La Academia para Jóvenes.**



## Prólogo

---

15 AÑOS DE EDAD, la clase de Física había sido en la noche. El profesor de la prepa nos llevó al pequeño observatorio astronómico a observar estrellas y planetas. El observatorio se ubicaba en la azotea del edificio principal de la Universidad de Guanajuato.

Mirar el globo de Júpiter y los anillos de Saturno a través del telescopio fue algo increíble; me imaginé caminando entre los cráteres de la Luna que, a simple vista, parecía una uña cortada.

Según nos dijo el maestro, uno de los puntitos que se alcanzaban a ver muy cerca de Júpiter era una de sus lunas, si mal no recuerdo se trataba de Ganímedes, la luna más grande del Sistema Solar. A su vez, el pequeño punto rojo que titilaba justo por debajo de la luna era el planeta Marte que, a través de las lentes del telescopio, se convertía en una canica roja.

Después de esa noche, mirar el cielo oscuro plagado de estrellas ya no era lo mismo, ahora miraba planetas, estrellas y constelaciones. Mirar el cielo era pensar

en astros, en cometas y asteroides; mirar el cielo era ponerse a imaginar la inmensidad del cosmos y la posibilidad de vida en otros planetas. Mirar el cielo era ponerse a soñar en espera de un meteorito que rosara la atmósfera terrestre y nos regalara un deseo junto con su estela fugaz.

Después me enteré de que algunas civilizaciones antiguas consideraban que la Tierra era una especie de disco plano. Los hindúes pensaban que el disco terrestre descansaba sobre el lomo de cuatro elefantes que, a su vez, estaban parados en el caparazón de una enorme tortuga estelar que recorría el cielo de un extremo al otro. Poesía e imaginación, dos elementos que alimentan la cosmología de las antiguas culturas humanas.

Poesía, imaginación y ciencia son, ahora, los elementos que alimentan la moderna cosmología humana; la astronomía, de la mano de la astrofísica, su hermana y compañera, nos llevan, en la obra que tienes en tus manos, a hacer un amplio recorrido por el cosmos.

Desde los cálculos de la distancia de la Luna a la Tierra hechos por los antiguos griegos, hasta el modelo de la Gran Explosión que da cuenta del origen del universo, pasando por los descubrimientos de Newton y Copérnico; la doctora Julieta Fierro nos embarca en un viaje asombroso por la astronomía y sus retos.

Como bien lo explica la doctora Fierro, el ojo humano sólo es capaz de captar una pequeña parte

del espectro de ondas electromagnéticas; al principio, las observaciones humanas de la esfera celeste sólo contaban con la vista y, desde luego, sus limitaciones eran enormes; sin embargo, con sólo este instrumento los antiguos astrónomos fueron capaces de predecir eclipses y deducir hechos como la rotación de la Tierra alrededor del Sol y la esfericidad de nuestro planeta.

La observación de las estrellas y las constelaciones fue de gran utilidad para ubicar a los navegantes durante largas travesías en mar abierto pues éstas eran la única referencia de su ubicación.

Así pues, el estudio de la astronomía se basa, principalmente, en la observación, una observación que, con el paso del tiempo, se ha vuelto cada vez más sofisticada y compleja.

Con el avance de la tecnología las observaciones astronómicas se hicieron más precisas, el uso del telescopio aumentó la capacidad de observación enormemente, pero sólo en la región visible del espectro. Más adelante esto se amplió con el invento de los espectrógrafos y los radiotelescopios y, ahora, el ser humano es capaz de captar la radiación que proviene del cosmos en casi todo el espectro electromagnético; esto nos da la capacidad de determinar la composición química de los cuerpos celestes, su distancia a la Tierra y su antigüedad, entre otras cosas.

La astronomía teórica, basándose en ciertas evidencias físicas, ha desarrollado teorías como la

de la Gran Explosión que explica el origen de nuestro universo; el nacimiento, desarrollo y muerte de estrellas y galaxias; y la existencias de objetos increíbles como los hoyos negros y la materia oscura que dan cuenta de lo pequeño que es el ser humano en comparación con el universo; sin embargo y pese a su diminuta dimensión, los humanos somos capaces de explicarnos la realidad astronómica mediante el razonamiento, lo cual habla también de nuestra grandeza.

La doctora Fierro, investigadora del Instituto de Astronomía de la UNAM y profesora de la Facultad de Ciencias de esta misma universidad, haciendo gala de su capacidad de divulgadora de la ciencia en todos sus aspectos y para todas las edades, nos hace, con su obra *Los retos de la astronomía*, una invitación a conocer este ámbito del conocimiento humano, a fascinarnos con sus logros y sus alcances y, ¿por qué no?, a soñar con hacer un viaje interestelar a bordo de una nave espacial a través del tiempo y del espacio.

Es también una invitación a interesarnos por la lectura de textos científicos que aumenten nuestro conocimiento y nuestra cultura, elementos claves para formar mejores personas y ciudadanos útiles a la sociedad.

Finalmente, es también una invitación a considerar la posibilidad de iniciar estudios de física y continuarlos con el estudio de la astronomía. En México contamos con universidades que ofrecen una licenciatura en física y

posgrados en astronomía que compiten con los mejores del mundo. En particular, me refiero al posgrado (maestría y doctorado) en astrofísica que ofrece nuestra máxima casa de estudios a través de la Facultad de Ciencias, el Instituto de Astronomía, el Instituto de Ciencias Nucleares ubicados en Ciudad Universitaria y el Instituto de Radioastronomía y Astrofísica ubicado en el campus Morelia de la UNAM.

Por mi parte, sólo me resta sugerir a los lectores del nivel medio superior que consideren la posibilidad de hacer una carrera científica, pues esto les abrirá los horizontes y será de gran beneficio para nuestro país.

*Ángel Homero Flores Samaniego  
agosto de 2019.*





# Los retos de la astronomía

---



## Introducción

---

IMAGÍNA TE QUE POR primera vez en tu vida miras una foto del cielo estrellado tomada con un gran telescopio. Es posible que te maraville lo que veas, que te sorprendas de que existan objetos tan hermosos aun cuando no sepas lo que son. Tal vez te dé curiosidad conocerlos. Eso les sucede a los astrónomos, quisieran saber qué son cada uno de los astros, si cambian, qué tan lejos están, su tamaño, de qué están compuestos y si hay planetas como la Tierra en otras partes.



**Imagen 1.** Región de formación estelar. Con sólo mirarla no sabrías qué es, a qué distancia está, si posee movimiento, ni qué fracción del cielo ocupa. Para saberlo han tenido que trabajar miles de astrónomos durante siglos. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Este libro *Los retos de la astronomía* es sobre la astronomía y la curiosidad que lleva a querer entender y saber más.

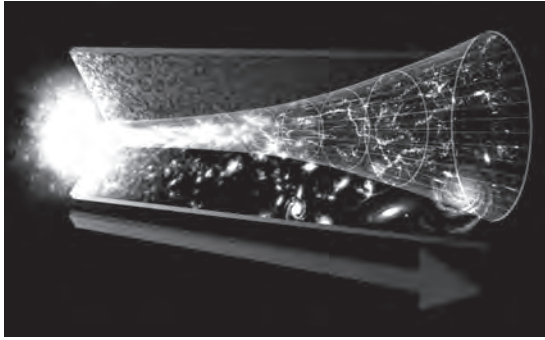
Las diversas secciones describen no sólo las propiedades de algunos astros, sino la manera en que hemos logrado conocer cómo se forman, su edad, evolución, o la existencia de vida en otros mundos.

Se trata de un texto de ciencia, hay que leerlo despacio. No es como una película que uno puede mirar de principio a fin. Para entender la astronomía es mejor abordarla con calma, reflexionar y sorprenderse sobre su elegancia, retomar el texto hasta comprender tanto como se desee.

Otra opción es hojearlo y sólo leer lo que llame la atención, es más fácil aprender lo que a uno le interesa.

La astronomía es, en cierta medida, como la música. Si escuchas una canción, aunque no entiendas la letra la puedes disfrutar; lo mismo sucede con las imágenes de los astros: nos sorprende verlos aunque no los comprendamos.

También nos llama la atención que la mente humana haya logrado detectarlos y analizarlos desde la Tierra.



**Imagen 2.** Los científicos queremos analizar la estructura y la evolución del universo y de los distintos objetos que lo conforman. Espero que, en la medida en que leas este libro, logres imaginar la liberación de energía que originó al universo, la radiación de fondo, la expansión universal, la telaraña cósmica y la formación y evolución de las galaxias. En [www.medium.com](http://www.medium.com).

La astronomía estudia el universo. Analiza los cuerpos celestes: planetas, satélites, estrellas, nubes de gas y de polvo, y galaxias. Explica el origen y la evolución del cosmos y de los objetos que lo constituyen. Para comprender el universo emplea varias ciencias, muy en particular la física, ya que ésta analiza el comportamiento de la naturaleza. Además, aplica una gama de disciplinas como matemáticas, química y biología, a fin de conocer la composición de los astros y la existencia de vida.

Estudiar el cosmos requiere de observaciones con telescopios para captar la radiación que emiten los astros. En contados casos se pueden explorar directamente los mundos del sistema solar. La astronomía avanza con las preguntas que se hacen los científicos

por curiosidad. Los investigadores obtienen respuestas teóricas y observacionales. Este libro contesta algunas de las preguntas que se ha hecho la humanidad sobre el cosmos y las respuestas que ha encontrado. Algunas respuestas estuvieron equivocadas; existen preguntas por responder y nuestra curiosidad nos lleva a hacernos nuevas preguntas todos los días.

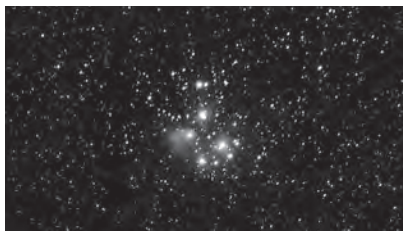
*Los retos de la astronomía* se puede leer en cualquier orden, lo componen textos breves donde se pone énfasis en el ingenio humano para comprender el universo. Antes de entrar en materia, si vives en un sitio con cielos despejados y oscuros, te sugerimos que mires hacia arriba, de preferencia una vez por semana. No es sencillo porque las luces nocturnas y las nubes dificultan las observaciones. Sin embargo, es posible que puedas al menos disfrutar la Luna. Notarás que cambia de forma cada día y que sale a horas distintas. Habrá noches en que no la puedas observar, en ese caso la verás de día.

La Luna brilla porque refleja la luz del Sol. Cambia de aspecto debido a la sucesión de sus días y noches vistos desde la Tierra. En la Luna las zonas claras son más brillantes, reflejan mejor la luz del Sol, están compuestas de calcio y aluminio, materiales muy reflejantes. En cambio las zonas oscuras están cubiertas de lava, similares en color a las cenizas que expulsan los grandes volcanes de México, como el Popocatépetl. Dado que estas rocas volcánicas son grises, reflejan menos la luz del Sol, cubren los extensos valles lunares, las zonas más bajas y planas.



**Imagen 3.** La Luna cambia de aspecto durante el mes porque vemos la transición entre su día y su noche. La línea que separa el lado iluminado por el Sol y el oscuro es el crepúsculo lunar. En [www.geoenciclopedia.com](http://www.geoenciclopedia.com).

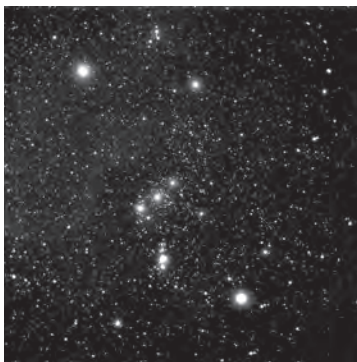
Si observaste el cielo, habrás notado que todos los astros salen por el este y se ponen por el oeste. Seguro te diste cuenta de que las estrellas están distribuidas al azar. Para ubicarlas con mayor facilidad las distintas culturas las han agrupado y les han dado nombres. Por ejemplo, los griegos de la antigüedad llamaron a un grupo de estrellas las Pléyades, ninfas amantes de la cacería. Decidieron que formaban parte de la constelación del Toro. Las Pléyades son un cúmulo de unas 300 estrellas jóvenes que se formaron de una misma nube de materia interestelar. A simple vista se pueden observar alrededor de seis; los mexicas las llamaron el *tianguis*.



**Imagen 4.** Las Pléyades son un grupo de unas 300 estrellas jóvenes. La parte nebulosa que las rodea está formada de gas y polvo que sobró de la nube que les dio origen. En [www.astromia.com](http://www.astromia.com).



Al mirar el cielo nocturno, te habrás dado cuenta de que unas estrellas se ven más brillantes que otras. Seguro sabes que las estrellas son similares al Sol, pero se ven débiles porque están muy lejos. Si todas fueran idénticas a nuestra estrella, pensaríamos que las más brillantes están más cerca y las débiles más lejos. Sin embargo, como veremos a lo largo de este libro, hay estrellas millones de veces más brillantes que el Sol y otras mucho más débiles. Así que la diferencia de brillo se puede deber tanto a la distancia como a la magnitud de la estrella.

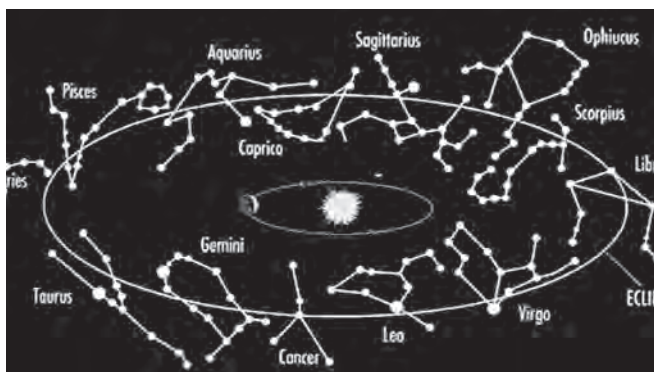


**Imagen 5.** La constelación de Orión domina el cielo nocturno en los meses del invierno mexicano, cuando suele estar despejado. Allí se encuentra la nebulosa de Orión, una cuna de formación estelar, que debe haber sido como la que dio origen a las Pléyades. En esta imagen se ve como una nubecita debajo de las tres estrellas alineadas. En [www.astrofisicayfisica.com](http://www.astrofisicayfisica.com).

Dejaremos el tema de las estrellas para pasar al de la rotación de la Tierra, que es la responsable de hacer que los astros parezcan salir por el este y se pongan por el oeste. En la antigüedad todas las grandes civilizaciones trataron de explicar la sucesión del día y la noche. Usaron el cambio de luz a oscuridad para la cuenta del tiempo y fue la base del calendario. También

emplearon las fases de la Luna para medir meses de unos treinta días, y el paso de las estaciones para el año. Por ejemplo, en el caso del Egipto antiguo, el río Nilo inundaba periódicamente las laderas del desierto que atraviesa; así que era necesario tener un buen calendario para saber cuándo preparar los campos para cultivar.

Los astrónomos egipcios notaron que durante el día el Sol parecía recorrer la bóveda celeste y durante la noche lo hacían las estrellas. Se dieron cuenta de que ciertos grupos de estrellas, las constelaciones, decoraban el cielo nocturno durante los meses del año; así que aprendieron a utilizar la aparición de ciertos grupos de estrellas para medir los años.



**Imagen 6.** A lo largo del año cambia el aspecto del cielo nocturno debido a que la Tierra se traslada alrededor del Sol. En [www.texplora.it](http://www.texplora.it).

Hace 5,000 años no se sabía que la Tierra era redonda ni que giraba sobre su eje, y que por tanto

el Sol iluminaba varias partes de nuestro mundo sucesivamente, que es la manera moderna de explicarnos el día y la noche. Los egipcios de la antigüedad representaron a la Tierra con el dios Geb, que estaba enamorado de la diosa de la bóveda celeste, Nut. Sin embargo, el dios Shu, del viento, la sostenía evitando que Nut y Geb estuviesen juntos.



**Imagen 7.** La diosa Nut del cielo, decorada de estrellas, estaba enamorada del dios de la Tierra, Geb; el dios Shu del viento impedía que se unieran. En [www.pinterest.com.mx](http://www.pinterest.com.mx).

La mitología egipcia explicaba la sucesión del día y de la noche de la siguiente manera: cada día Nut daba luz al Sol, éste recorría su vientre y por la tarde Nut se lo tragaba. El Sol, Ra, viajaba en una barca por la espalda de la diosa y al día siguiente volvía a nacer.

Éste es un ejemplo de cómo la curiosidad humana nos puede llevar a buscar respuestas en el mundo de

la fantasía, cuando no encontramos explicaciones para nuestras inquietudes. Las explicaciones de la mitología ponen de manifiesto la creatividad humana; lo mismo logra la ciencia. Cuando los griegos dedujeron que la Tierra es redonda, calcularon su circunferencia y posteriormente Copérnico y Galileo mostraron que ésta gira sobre su eje y se traslada en torno al Sol; así inició una época donde las observaciones y las explicaciones científicas nos ayudaron a entender la naturaleza; algunas creencias fueron sustituidas por conocimiento.

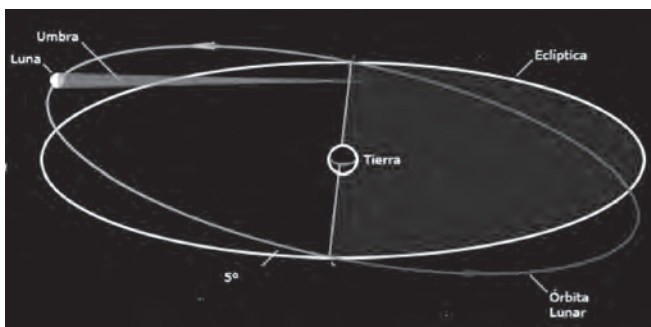
### **Los eclipses**

Ahora explicaremos uno de los logros de las observaciones a simple vista que hicieron astrónomos de la antigüedad: los eclipses. La Tierra produce siempre una sombra; ésta se proyecta del lado opuesto donde se encuentra el Sol, el lado de la noche terrestre. Cuando ocurre un eclipse de Luna, nuestro satélite pasa por la sombra de la Tierra y así podemos adivinar su forma. Resulta que la sombra que proyecta la Tierra sobre la Luna es siempre un círculo, y el único objeto que invariablemente genera una sombra circular es una esfera. Así que desde la antigüedad los pueblos de Asia Menor sabían que la Tierra es redonda.



**Imagen 8.** Imágenes sucesivas de la Luna tomadas durante un eclipse. Esta superposición de imágenes muestra con claridad que la sombra de la Tierra sobre la Luna es circular. En [www.apod.nasa.gov](http://www.apod.nasa.gov).

El Sol y la Luna salen por el este y se ponen por el oeste. La trayectoria aparente del Sol se llama eclíptica, porque allí ocurren los eclipses (en realidad la Tierra es la que se mueve, pero como no percibimos el movimiento, sentimos que está quieta, da la impresión de que el Sol es el que se desplaza). La trayectoria de la Luna cruza a la solar, forma un ángulo de  $5^\circ$ . Cuando la Luna pasa delante del Sol y lo cubre se produce un eclipse de Sol.



**Imagen 9.** En blanco se muestra la órbita aparente del Sol en torno de la Tierra. En gris se muestra la órbita lunar; se cruzan formando un ángulo de  $5^\circ$ . En [www.surastronomico.com](http://www.surastronomico.com).



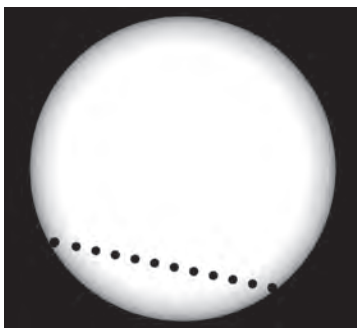
**Imagen 10.** Los eclipses de Sol se producen cuando la Luna pasa delante de nuestra estrella. La Luna y el Sol tienen el mismo tamaño aparente. Aunque la Luna tiene un diámetro 600 veces más pequeño que el del Sol, éste queda 600 veces más lejos y por eso se ve de la misma dimensión que la Luna. En [www.lasexta.com](http://www.lasexta.com).

Los mayas fueron grandes observadores del cielo. Analizaban cuidadosamente la trayectoria de la Luna y así pudieron predecir cuándo ocurriría un eclipse. Registraron las fechas de los eclipses en sus códices. Si la trayectoria aparente del Sol y de la Luna estuviera en el mismo plano, cada mes ocurriría un eclipse, cuando la Luna pasara delante del Sol. Pero como sus órbitas forman un ángulo de  $5^\circ$ , sólo hay unos cuantos eclipses al año.



**Imagen 11.** Los mayas calcularon y anotaron cuándo serían los eclipses del futuro, así como los tránsitos del planeta Venus frente al Sol. En [www.arqueologiamexicana.mx](http://www.arqueologiamexicana.mx).

Los mayas de la antigüedad observaron la trayectoria de Venus y pudieron calcular cuándo pasaría delante del Sol. Aunque la Tierra y Venus son casi del mismo tamaño, ese planeta está muy lejos, así que cuando transita delante del Sol sólo parece como un granito que le pasa delante.



**Imagen 12.** Tránsito del planeta Venus frente al disco del Sol. En [www.agenciasinc.es](http://www.agenciasinc.es).

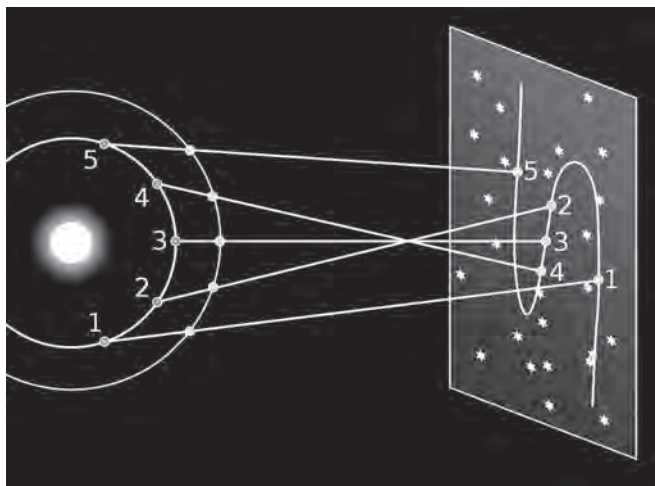
Así, mediante cuidadosas observaciones los antiguos moradores del planeta aprendieron a conocer la forma de la Tierra y a predecir los eclipses. Los astrónomos modernos seguimos haciendo mediciones cada vez más precisas, no sólo de los astros cercanos al sol, sino también de los más lejanos.

### **El movimiento de la Tierra**

Ninguno de nosotros siente que la Tierra se mueve, ¿cómo se descubrió que se traslada en torno al Sol? Los griegos pensaban que la Tierra estaba fija en el centro del universo y el Sol y los planetas giraban

alrededor suyo. A simple vista los planetas parecen estrellas, sin embargo se mueven respecto a éstas, las cuales parecen estar fijas, formando constelaciones. Dado que la Tierra y los planetas se mueven en torno al Sol a distintas velocidades, da la impresión de que los planetas van y vienen respecto de las estrellas.

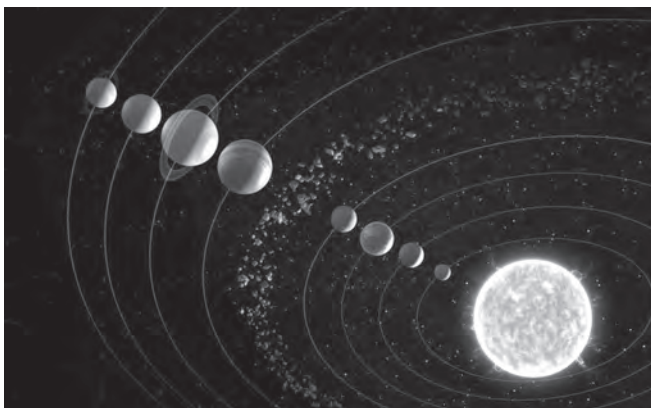
En la figura están dibujadas las órbitas de la Tierra y Marte; el planeta rojo se mueve más lento que la Tierra en torno al Sol y esto hace que, visto desde nuestro mundo, parezca avanzar y retroceder respecto de las estrellas. Si la Tierra estuviera fija en el centro del Sistema Solar esto no ocurriría; Marte parecería girar en torno de nuestro planeta, como lo hace la Luna.



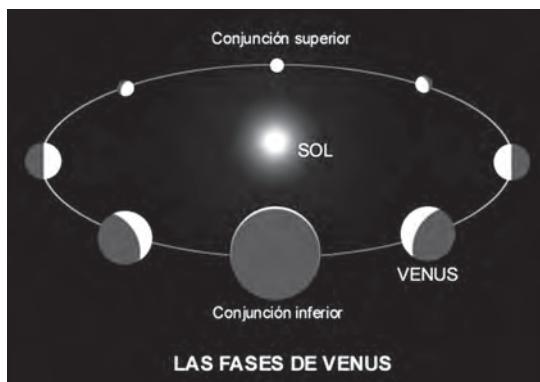
**Imagen 13.** Movimiento aparente de Marte respecto de las estrellas. En *El Correo del Maestro*.



Nicolás Copérnico avanzó la idea de que la Tierra, como los planetas, orbita en torno al Sol y éste se encuentra en el centro del Sistema Solar. Más tarde Galileo demostró que Copérnico tenía razón. Lo logró porque sabía construir telescopios y observó a Venus. Galileo advirtió que si la Tierra estuviera en el centro del Sistema Solar no podríamos ver las fases de Venus, es decir, la sucesión de sus días y noches, pues el Sol siempre iluminaría la parte de ese mundo que vemos desde la Tierra. Eso sucede con los planetas que están más allá de la órbita de la Tierra, sólo vemos su lado de día, pues el Sol siempre les ilumina la región que podemos observar.

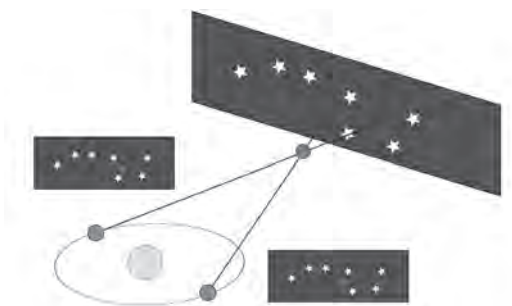


**Imagen 14.** Aunque todos los planetas tienen su lado día y su lado noche, desde la Tierra sólo vemos el lado día de los planetas, que están más lejos del Sol que nuestro mundo. En cambio, sí logramos ver los lados noche de Venus y de Mercurio porque sus órbitas son interiores a la nuestra. En [www.thoughtco.com](http://www.thoughtco.com).



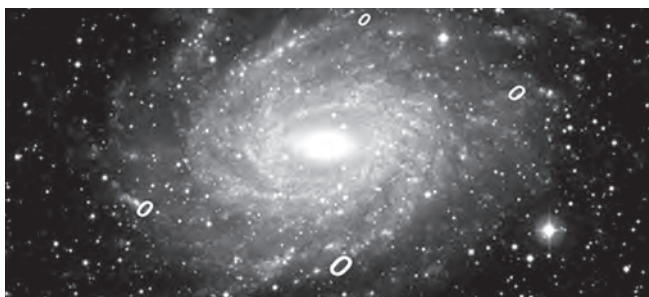
**Imagen 15.** Desde la Tierra podemos observar las fases de Venus. Si la Tierra estuviera en el centro del Sistema Solar, con el Sol girando en torno suyo, sólo veríamos la cara iluminada de Venus. En Instituto de Astrofísica de Canarias.

Gracias a las observaciones de las fases de Venus, Galileo mostró que la Tierra no podía estar en el centro del Sistema Solar, debería ser el Sol, como había sugerido Copérnico. Así se construye la ciencia, paso a paso. Cuesta trabajo aceptar que la Tierra es esférica y que se desplaza, pero grandes pensadores tuvieron la audacia de proponerlo y probarlo. Si lees la sección de distancia a las estrellas, descubrirás cómo la prueba irrefutable del movimiento de la Tierra es la paralaje; esto se explica de la siguiente manera: cuando se observa una estrella cercana, desde una posición y la opuesta de la órbita terrestre, cambia de posición respecto de las estrellas lejanas (así como si vemos nuestro dedo con el brazo estirado y bamboleamos la cabeza, lo vemos proyectado sobre sitios distintos del fondo).

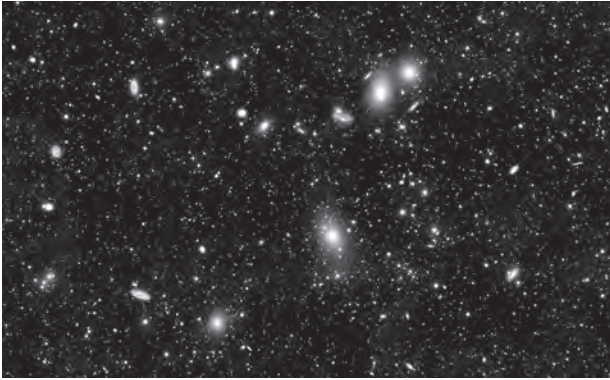


**Imagen 16.** Hoy en día sabemos sin la menor duda que la Tierra se traslada en torno al Sol por la paralaje de las estrellas. En *El Correo del Maestro*.

Cabe notar que la Tierra no sólo se desplaza alrededor del Sol a 30 km/sg, también orbita junto con todo el Sistema Solar en torno al centro de la Galaxia a 220 km/sg. Y como si fuera poco se acerca al cúmulo de galaxias de Virgo a 250 km/sg. ¡A esta velocidad llegaríamos de la Ciudad de México a Aguascalientes en 2 segundos!

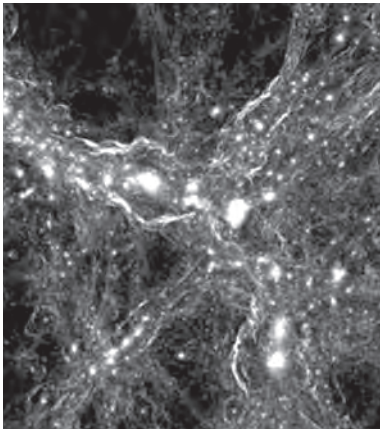


**Imagen 17.** Esta ilustración muestra la situación del Sistema Solar en distintas posiciones, mientras se traslada alrededor del centro de la Galaxia cada 230 millones de años. (El Sistema Solar no está a escala, si lo dibujáramos en esta ilustración, sólo sería un punto insignificante). En European Southern Observatory.



**Imagen 18.** La Galaxia, junto con sus mil millones de estrellas, una de las cuales es el Sol, se mueve hacia el cúmulo de galaxias de Virgo a 250 km/sg. Los objetos de aspecto nebuloso de esta imagen son galaxias, cada una con cien mil millones de estrellas o más. En [www.universetoday.com](http://www.universetoday.com).

Por cierto, los cúmulos de galaxias no son los grupos más extensos del cosmos. Estos forman estructuras alargadas que se conocen como la telaraña cósmica.



**Figura 19.** La telaraña cósmica está formada por grupos de galaxias. Se mantienen unidas por la gravedad, que se piensa proviene en su mayor parte de la llamada materia oscura, que no produce ni refleja la luz. En [www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es).

## Telescopios y radiación

La mayor parte de la astronomía se hace a distancia, al analizar la luz de los astros. Aunque estos emiten radiación de distintos tipos, como ondas de radio o rayos x, las primeras observaciones se efectuaron en luz visible. Nuestro ojo ha evolucionado para funcionar mejor durante el día, para detectar los objetos por la luz que reflejan del Sol. Cuando oscurece, nuestra pupila se dilata para permitir el ingreso a mayor cantidad de radiación.



**Imagen 20.** Las pupilas de los ojos se contraen o se dilatan dependiendo de la cantidad de la luz del medio ambiente. Entre menor sea la cantidad de luz mayor será la dilatación. En Social and Emotional Intelligence.

El motivo por el cual vemos débiles a los remotos objetos celestes es porque están a distancias enormes. Una fuente de luz envía radiación en todas direcciones, así que sólo captamos parte de su emisión, la que avanza en nuestra dirección.



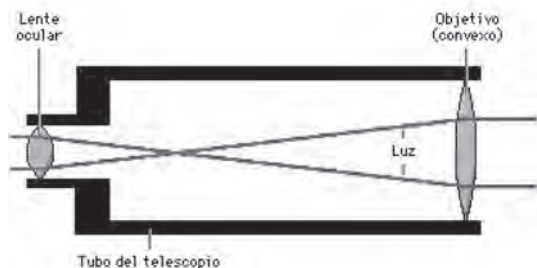
**Imagen 21.** La intensidad de luz de una fuente luminosa, como una lámpara, disminuye con el cuadrado de la distancia. Por lo tanto la enorme mayoría de los astros se ven muy débiles y requerimos enormes telescopios para analizar su radiación. En [www.jornada.com.mx](http://www.jornada.com.mx).

Un telescopio es la extensión de nuestra pupila, intercepta la radiación y la concentra hacia nuestro ojo o hacia un dispositivo electrónico para su registro.

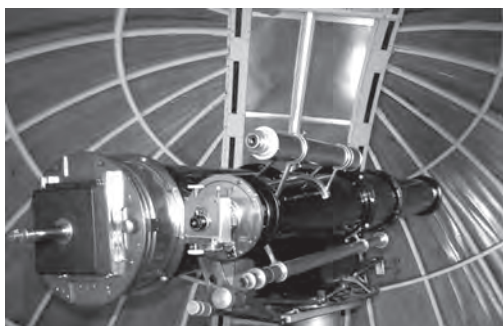
### **Ejemplos de telescopios**

Los telescopios recogen la luz con una lente o un espejo; se clasifican en refractores y reflectores. El propósito de un telescopio no necesariamente es ver a los objetos más grandes, es captar mayor cantidad de luz. Por más grande que sea el telescopio, objetos como estrellas remotas siempre se ven como puntos luminosos por la enorme distancia a que se encuentran. Así que lo que pretendemos con un telescopio es descubrirlas y analizarlas, a pesar de recibir poca luz (si quieres saber más sobre telescopios, al final de este libro hay una descripción sobre los más pequeños).

Las lentes de pirata en las que se inspiró Galileo para construir su telescopio poseen en realidad dos lentes. La primera es grande, para interceptar la mayor cantidad posible de luz, la segunda es pequeña para enfocar o amplificar la imagen.



**Imagen 22.** Un telescopio refractor posee dos lentes. Entre más grande sea el objetivo (lente de la derecha) se verán más brillantes los objetos. En [www.Escolares.net](http://www.Escolares.net).

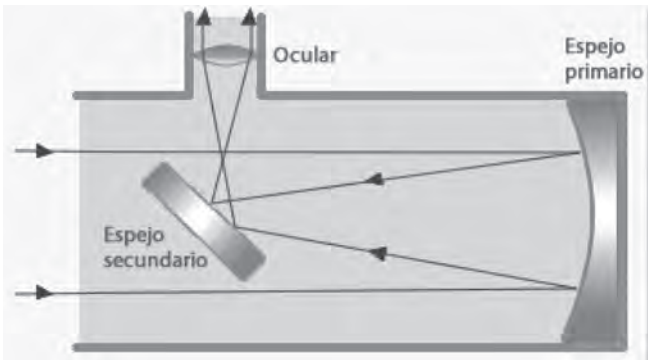


**Imagen 23.** El telescopio refractor llamado Carta del Cielo se construyó en Francia en 1880, está instalado en el observatorio de Tonantzintla, Puebla. En Instituto de Astronomía, UNAM.

Un telescopio emblemático refractor mexicano es el Carta del Cielo. A finales del siglo XIX no existía un mapa fotográfico de la bóveda celeste, sólo había dibujos. El proyecto Carta del Cielo consistió en construir varios telescopios idénticos, instalarlos en distintas latitudes del hemisferio para contar con un mapa celeste de esa región del firmamento. No fue hasta la segunda mitad del siglo XX que se tuvo un mapa fotográfico completo de toda la bóveda celeste. Con un telescopio sólo se observa una región pequeña del cielo a la vez. Uno de los telescopios de la Carta del Cielo se colocó en México. A pesar de la Revolución, nuestra nación cumplió con su responsabilidad y envió a París las fotos correspondientes a la latitud centrada en  $19^\circ$  al norte del Ecuador.

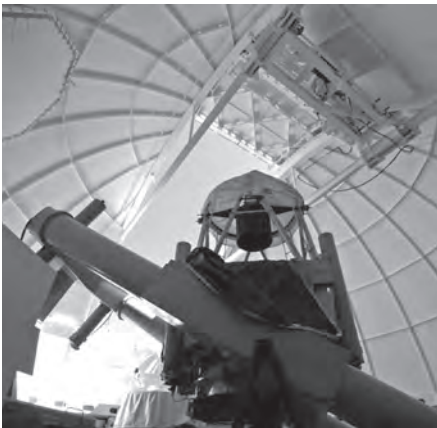
Los telescopios reflectores son los que se emplean en investigación; se diseñan para luz visible y otras frecuencias como ondas de radio. Emplean un espejo parabólico para captar la luz, con un área recolectora grande que recibe la luz y la refleja para producir un haz brillante. Este incide sobre un segundo espejo que re-direcciona la luz hasta el ojo del observador o el detector de radiación. Puede contar con una lente para enfocar la luz o amplificarla.





**Imagen 24.** Óptica de un telescopio reflector. La luz entra por la derecha y se refleja en el espejo primario, posteriormente se vuelve a reflejar en el espejo secundario para emerger hacia el ojo del observador o un detector de luz. En [www.fisicalab.com](http://www.fisicalab.com).

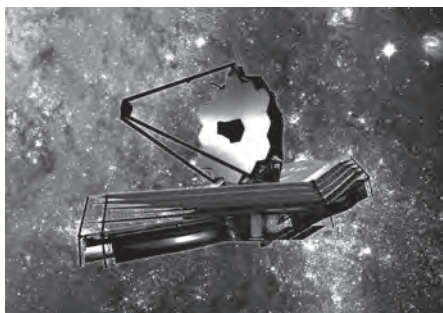
En México, el Observatorio Astronómico Nacional, que forma parte del Instituto de Astronomía de la UNAM, cuenta con un telescopio reflector de 2.12 m situado en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California.



**Imagen 25.** Telescopio en el observatorio de San Pedro Mártir, Baja California. En Observatorio Astronómico Nacional.

Utilizar un telescopio desde la Tierra es como mirar hacia el cielo desde el fondo de una alberca. La contaminación y los efectos producidos por las turbulencias en la atmósfera terrestre difuminan las imágenes y reducen la potencia de los grandes telescopios. Estos efectos no deseables hacen que las estrellas parezcan titilar cuando las observamos a simple vista. Así que lo ideal es construir telescopios espaciales; un ejemplo es el telescopio espacial Hubble, que cuenta con un espejo de 2.4 metros de diámetro. Varias imágenes de este libro se tomaron con ese instrumento. Ahora existen decenas de telescopios espaciales; desde el espacio las estrellas no titilan pues no hay atmósfera que distorsione la dirección de la luz.

Actualmente se diseña un nuevo telescopio espacial que será mucho más poderoso que el Hubble, su espejo primario tendrá al menos 8 metros de diámetro. Para evitar fallas que serían más complicadas de atender después, este nuevo instrumento se armará —al menos parcialmente— en el espacio.



**Imagen 26.** El nuevo telescopio espacial James Webb tendrá un espejo primario seccionado. En [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov).

En México existen dos instrumentos poderosos instalados sobre su quinta cumbre más elevada: la Sierra Negra, que es un volcán extinto cuyas cenizas son oscuras.

El primer instrumento es una antena que analiza la radiación milimétrica que producen las moléculas del medio interestelar, así como otras fuentes relativamente frías como asteroides de los confines del Sistema Solar. Este telescopio se puede utilizar junto con otros instrumentos de su tipo en varios lugares del mundo para analizar eventos tan importantes como la absorción de la nube de materia interestelar que se acercó al hoyo negro súper masivo que está en el centro de nuestra galaxia.



**Imagen 27.** En esta imagen se aprecian la Sierra Negra y su vecino el Pico de Orizaba. En la cumbre de la Sierra se observa el Gran Telescopio Milimétrico. En actualidad.rt.com.

En la Sierra Negra también se encuentra un observatorio de rayos gamma, la radiación más energética del cosmos, que se produce cuando dos hoyos negros chocan entre sí, o cuando los campos magnéticos de un medio interestelar aceleran a los protones a altísimas velocidades. Los rayos gamma chocan con los átomos de la atmósfera y producen una lluvia de partículas que captan unos tanques de agua y producen luz; ésta depende de la energía de los rayos gamma.



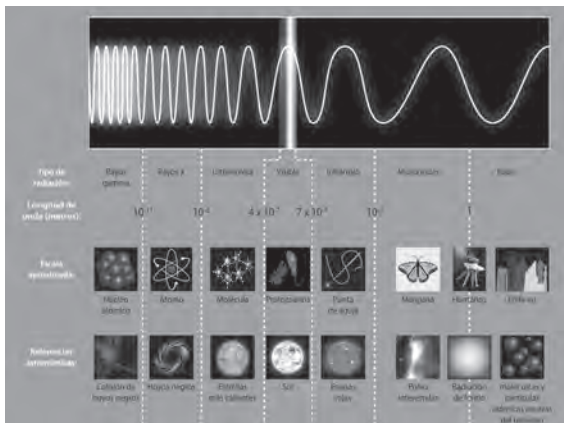
**Imagen 28.** Observatorio de rayos gamma instalado en la Sierra Negra del estado de Puebla en México. Se emplea para analizar los eventos más energéticos del universo. En Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.

### **La radiación electromagnética**

El propósito de los telescopios modernos es captar la mayor cantidad de radiación posible para fijarla en una imagen electrónica. La luz visible es sólo una parte de la radiación electromagnética, ésta incluye ondas de radio que son de menor energía

y rayos gamma que representan la radiación más energética. Además, existen microondas, infrarrojos, ultravioletas y rayos x. Ya existen telescopios para medir todas estas radiaciones, pues sólo así podemos tener una visión integral de los astros que pueblan el universo. Desde los que producen más energía, como la colisión de hoyos negros, a los de menor energía que emiten algunas nubes de gas intergaláctico.

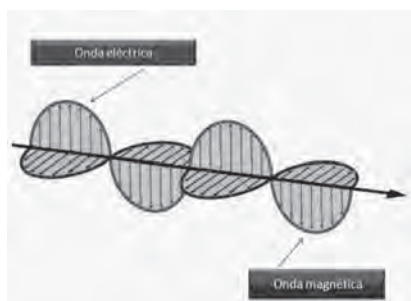
Cada uno de nuestros sentidos nos da información distinta sobre nuestro entorno. Si contásemos con más, seguro conoceríamos mejor a la naturaleza. Dado que la astronomía se practica de manera remota, entre más tipos de radiación empleemos para estudiar a los distintos astros, mejor los conoceremos.



**Imagen 29.** La radiación electromagnética. Los diferentes tipos dependen de la longitud de onda; cada longitud se compara con la de algunos objetos. Los distintos astros producen distintos tipos de radiación. En Instituto de Astronomía, UNAM.

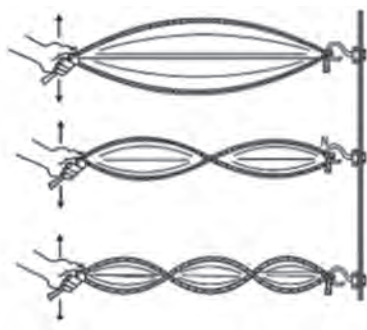
La mayor parte de la radiación electromagnética es invisible. Un ejemplo es la radiación infrarroja; si le pides a una persona que cierre los ojos y frota vigorosamente las manos y se las acerca a algún lugar de su cuerpo, podrás notar —sin que la toques— la radiación infrarroja que sentirá como calor. En cambio, la radiación ultravioleta, responsable del bronceado de la piel, no se ve ni se siente. Esta radiación es importante porque ayuda a fijar la vitamina D, para que, entre otras funciones, no se descalcifiquen los huesos. Sin embargo, dicha radiación en demasía puede causar cáncer de piel. El gas caliente del medio interestelar y las estrellas más pequeñas que el Sol producen radiación infrarroja; las estrellas más calientes emiten luz ultravioleta.

La radiación electromagnética está constituida por ondas. Estas viajan a la velocidad de la luz, que es de 300 mil kilómetros por segundo. Se trata de un campo magnético y uno eléctrico que se propagan de manera simultánea en forma de ondas. Se debe aclarar que la luz (la radiación electromagnética) es dual, pues se comporta a la vez como ondas y como partículas, como pelotitas llamadas fotones. En el caso de un telescopio, la luz es un conjunto de fotones que viajan por el espacio desde la fuente que las emitió hasta que son capturadas por el telescopio. Estas pelotitas no colisionan entre sí, se atraviesan como lo hacen las ondas.



**Imagen 30.** La radiación electromagnética está formada por un campo magnético y uno eléctrico que viaja por el espacio a la velocidad de la luz. La longitud de onda de cada fotón depende de su energía, a mayor energía menor longitud de onda. En [www.worldpress.com](http://www.worldpress.com).

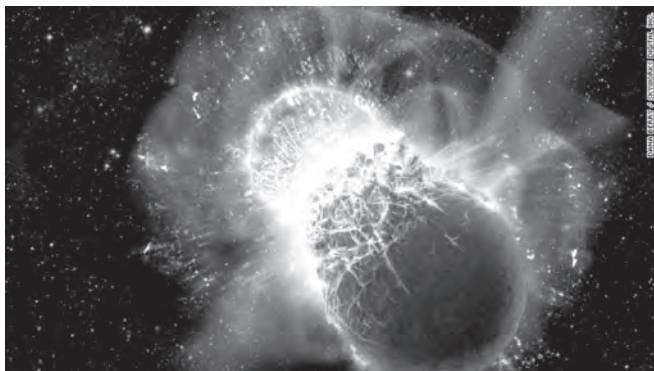
Se clasifica la radiación electromagnética de acuerdo con la energía que transporta. A mayor energía mayor frecuencia y menor longitud de onda. Si amarras el extremo de una cuerda elástica y produces ondas con el extremo suelto, notarás que es más fácil producir una sola onda que muchas pequeñas (es más fácil mover suavemente el brazo que deprisa). Lo mismo le sucede a la radiación: la longitud de onda corta transporta mayor energía que la longitud de onda larga.



**Imagen 31.** Requiere mayor energía generar ondas cortas que largas, puedes hacer la prueba con una cuerda. En Universidad Complutense de Madrid.

A continuación describiremos algunas propiedades de la radiación electromagnética y cómo se clasifica de mayor a menor energía. Existe una correlación directa entre la energía y la longitud de onda de la radiación. A menor energía, mayor longitud de onda.

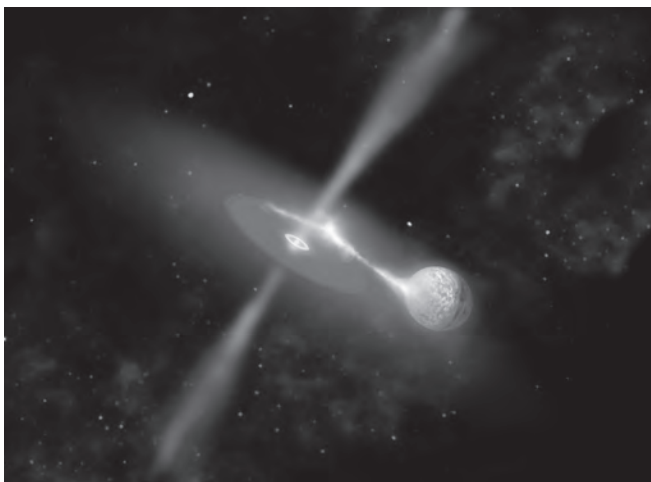
La radiación de menor longitud de onda y mayor energía se denomina rayos gamma. Sus fotones poseen tanta energía que se pueden transformar en materia, por ejemplo en los aceleradores de partículas. Las fuentes astronómicas que los generan son las colisiones de hoyos negros y de estrellas de neutrones. Las reacciones termonucleares del interior de las estrellas y de las bombas atómicas generan rayos gamma. Nuestra atmósfera impide que ingrese la inmensa mayoría de rayos gamma del cosmos; por tanto los astros que las emiten se observan desde satélites.



**Imagen 32.** La colisión de hoyos negros genera rayos gamma. En [www.skyandtelescope.com](http://www.skyandtelescope.com).

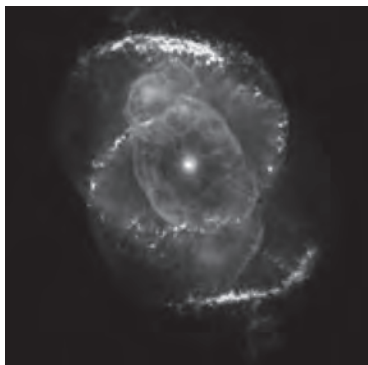


Otro tipo de radiación que no ingresa a la superficie terrestre debido a la atmósfera son los rayos x. Estos también son muy energéticos, tanto que atraviesan los músculos de nuestro cuerpo y son absorbidos por los huesos, por lo que se emplean para tomar radiografías. Lamentablemente, igual que los rayos gamma y parte de la radiación ultravioleta que analizaremos más adelante, son dañinos. Aunque tuviésemos ojos capaces de detectar rayos x no servirían para mucho, ya que en el ambiente este tipo de radiación es muy escasa. Las fuentes de rayos x astronómicos son los discos de materia incandescente que giran en torno de los hoyos negros y los gases calientes que rodean las galaxias.



**Imagen 33.** Cuando un hoyo negro captura un objeto cercano lo desintegra, formando un disco en torno suyo que emite rayos x. En ULX\_2

En cuanto a la radiación ultravioleta, que es la que sigue en energía, es producto de estrellas azules, las más calientes de todas, y los núcleos de nebulosas planetarias, estrellas enanas blancas que ya no generan reacciones termonucleares y son los antiguos núcleos de estrellas que fueron como el Sol.



**Imagen 34.** Estrella enana blanca en el núcleo de una nebulosa planetaria. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Nuestros ojos evolucionaron para detectar luz visible, pues constituye la mayor parte de la radiación que produce el Sol y atraviesa nuestra atmósfera. Las plantas también aprovechan la radiación solar para la fotosíntesis. Los filamentos de las hornillas y los calentadores domésticos generan radiación infrarroja. También las estrellas más frías y las nubes de polvo que rodean a las estrellas recién formadas emiten esta radiación.

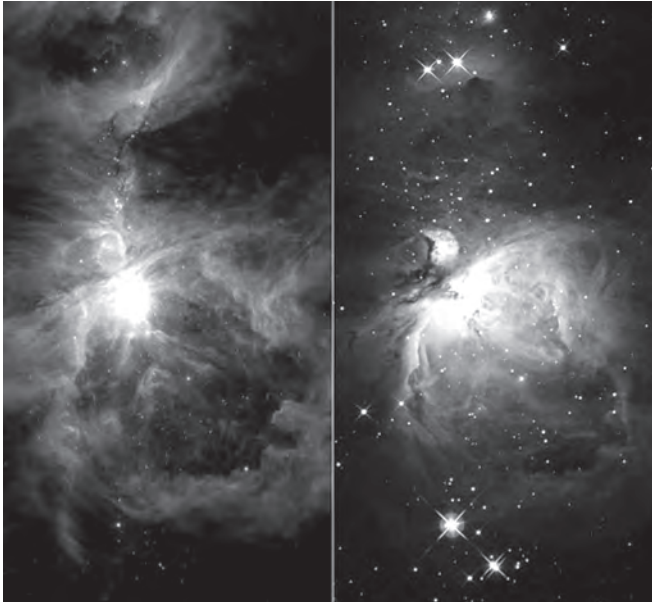
Las microondas (como las de los hornos) poseen mayor longitud que las infrarrojas. Su longitud de onda es de algunos centímetros; por eso, si colocas un guisado extendido en el horno y no permites que gire el plato, algunas secciones se calientan y otras no; sólo se calienta dónde llegan las crestas de las ondas. Las moléculas del medio interestelar giran y oscilan a varias velocidades; cuando pasan de un estado de mayor a uno de menor energía emiten radiación en forma de microondas, y al analizar esta radiación podemos inferir las propiedades de las moléculas que las generan, comparando su emisión con las que producen diversas moléculas en laboratorios terrestres.



**Imagen 35.** Imagen en luz infrarroja de una cuna de formación estelar a partir de nubes de gas y polvo del medio interestelar. En [www.eso.com](http://www.eso.com).

La radiación de mayor longitud de onda corresponde a las ondas de radio, con las que se transmiten las señales que escuchamos en nuestros aparatos. En el universo, el gas frío compuesto de hidrógeno y

algunas moléculas del medio interestelar emiten ondas de radio. En particular el hidrógeno emite radiación de 21 cm de longitud de onda.



**Imagen 36.** Comparación entre una región de formación estelar —la Nebulosa de Orión— en radiación infrarroja y visible. En NASA/Spitzer

### **La espectroscopia y la composición de los astros**

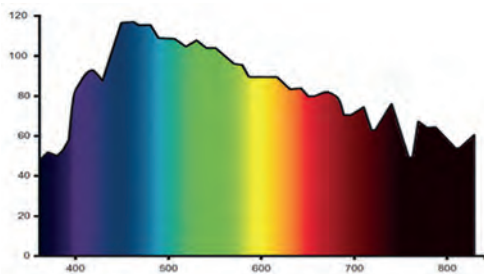
La luz blanca está conformada por una mezcla de luces de varios colores. Cada color posee una longitud de onda particular. La longitud de onda más corta corresponde al violeta y la más larga al rojo. Si quieres descomponer la luz blanca en su gama de colores puedes utilizar un

disco compacto y comparar lo que ves con una lámpara, una vela o la luz del Sol que entra por la ventana. A este desdoblamiento de la luz se le llama espectro.



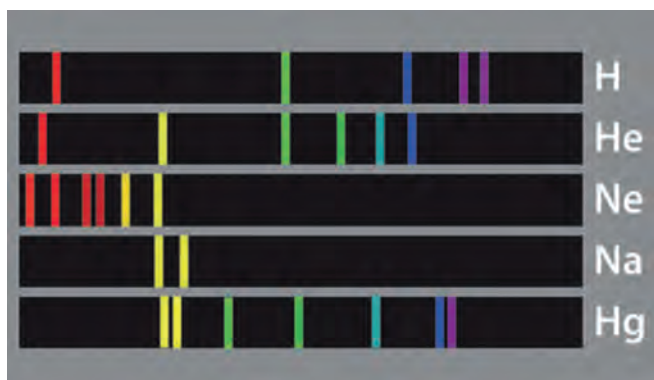
**Imagen 37.** Puedes descomponer la luz de una fuente empleando un disco compacto. En ciencia se emplean rejillas de difracción, placas con achurado fino para generar la gama de colores. En Peatix.

El espectro de una fuente de radiación depende de su composición química, densidad, temperatura y velocidad. Comparando las fuentes terrestres con las celestes podemos conocer las propiedades de los astros. Las estrellas azules emiten más radiación en ese color, en cambio las rojas emiten mayor cantidad de radiación en ese tono.



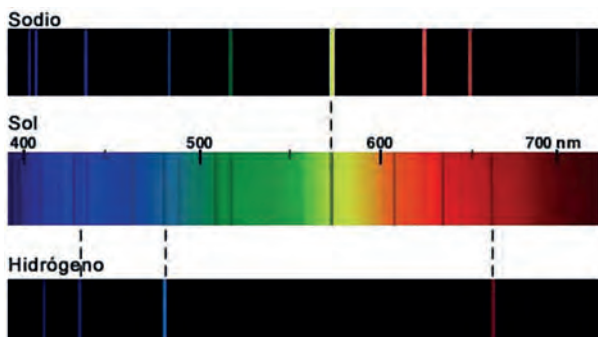
**Imagen 38.** Espectro de una estrella azul. Su gama de colores muestra cómo emite luz en una gran diversidad de colores que corresponden a determinadas frecuencias y longitudes de onda. En el eje vertical está graficada la intensidad luminosa y en el horizontal la longitud de onda. En Linzaroso.

Es posible producir luz cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de un gas o cuando éste se calienta a altas temperaturas. La luz obtenida se puede descomponer o dispersar al hacerla pasar por una rejilla de difracción; de esta manera se consigue un espectro de líneas discretas en lugar de un espectro continuo. Estas líneas son características de los elementos que forman el gas que emite la luz; en otras palabras, cada elemento químico tiene su propio espectro de líneas. Estos espectros caracterizan a cada elemento. No existen dos elementos que tengan el mismo espectro; este hecho permite conocer los elementos presentes en determinado gas.



**Imagen 39.** Una de las herramientas de análisis de luz más poderosas de la astronomía es la espectroscopia, el análisis de la gama de colores de los astros. En la imagen se muestran los espectros de distintos gases. Ilustración de Alfonso Galán.

Las nubes de gas brillante del medio interestelar contienen los mismos elementos que existen en la Tierra y producen espectros de líneas similares a los de las lámparas incandescentes. Cuando se hace pasar un haz de luz blanca por un gas a baja temperatura, los átomos del gas absorben ciertas longitudes de onda de la luz incidente, por lo que aparecen líneas oscuras sobre el espectro continuo. A este espectro se le llama espectro de *absorción*. Cada elemento absorbe luz a determinadas longitudes de onda que coinciden con las frecuencias de las líneas del espectro de emisión del mismo elemento.



**Imagen 40.** Espectro del sodio, del Sol y del hidrógeno. Nótese que las líneas de emisión de los gases incandescentes de sodio e hidrógeno aparecen como líneas de absorción en el Sol, debido a que sus átomos atmosféricos absorben esa radiación. En [www.gobiernodecanarias.org](http://www.gobiernodecanarias.org) (Ciencias para el Mundo Contemporáneo).

Cada estrella emite su propia luz; al descomponer esta luz en un espectro podemos identificar, por las

líneas de su espectro de absorción, los elementos químicos que componen cada estrella. A partir de este principio los astrónomos conocen la constitución de las estrellas. Gracias al estudio de la radiación y los espectros podemos determinar la composición química de los astros, su temperatura, densidad y velocidad. Conocemos las propiedades físicas de los astros por medio de la espectroscopía. Como mencionamos desde el principio de este capítulo, casi todo el conocimiento que tenemos sobre el cosmos proviene del estudio de la radiación. Resulta que el universo está en expansión acelerada, no sabemos qué lo impulsa; sin embargo, al medir esta aceleración hemos calculado que el 70% de lo que existe es lo que se llama energía oscura.

Tampoco sabemos qué es el 26% de la materia que se denomina oscura, pues no conocemos su composición; hemos inferido su existencia pues es la responsable de mantener unidas con su gravedad a las galaxias y atraerlas a los filamentos de la telaraña cósmica. Sólo el 4% del cosmos es la materia común, los átomos de la tabla periódica de la que estamos compuestos nosotros. La luz que emite esta materia es la que nos ha enseñado que existen estrellas que se agrupan en galaxias. La luz que reflejan planetas, satélites y anillos nos permiten verlos y, por tanto, saber de su existencia. Tan sólo el 0.005% de lo que existe es radiación de todas las longitudes de onda; gracias a su análisis hemos podido estudiar el universo.





**Imagen 41.** Los componentes del universo en unidades de energía. La radiación electromagnética es tan sólo el 0.005 de lo que contiene el universo. Gracias a esto conocemos casi todo lo que sabemos sobre el cosmos. Ilustración de Julieta Fierro.

## Los nuevos sistemas planetarios

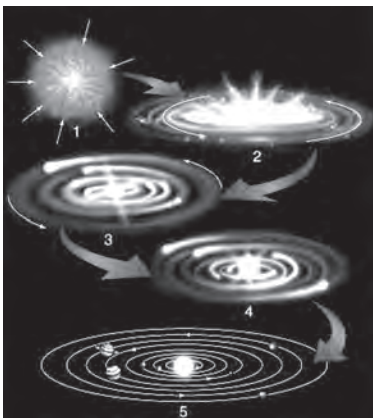


**Imagen 42.** La diversidad de exoplanetas debe ser enorme, se han descubierto miles. Son mundos que se trasladan en torno de estrellas distintas al Sol o flotan libres en el espacio, sin estrella que los mantenga en órbita ni los ilumine. La Unión Astronómica Internacional nombró a cuatro exoplanetas con nombres inspirados a partir de una novela clásica y su autor: Dulcinea, Rocinante, Quijote y Sancho, y a su estrella Cervantes. Ilustración de Julieta Fierro.

Para la astronomía, el descubrimiento de planetas fuera del sistema solar fue un evento extraordinario. Su importancia radica no sólo en poder comparar nuestro sistema con otros, sino para iniciar la búsqueda de planetas con agua.

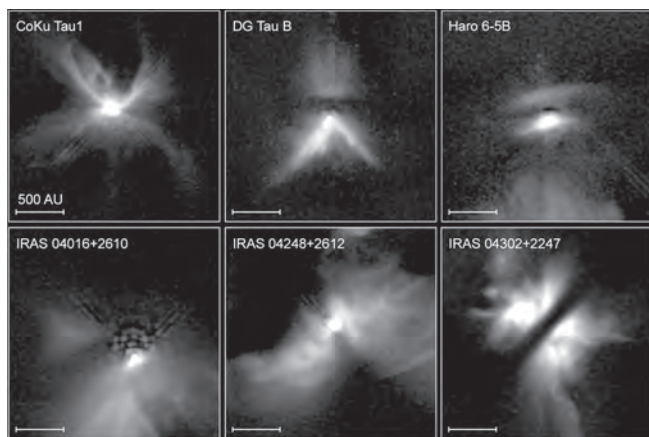
El agua es el medio ideal para el intercambio de sustancias y el desarrollo de la vida. Las comparaciones son útiles para poner en perspectiva los objetos. Por ejemplo, entender cómo ocurre el calentamiento global en otros lados, o la formación de montañas nos ayuda a entender la Tierra. Si observamos miles de sistemas solares podemos comprender cómo se forman, evolucionan, crean vida o desaparecen.

Cuando nace una estrella produce un disco que la circunda. La parte interior del disco se halla tan caliente que se evapora. En la zona intermedia, donde la temperatura es de cientos de grados, se evaporan los hielos y sobreviven las sustancias refractarias. En cambio, en las regiones más alejadas de la estrella, donde la temperatura es menor de  $100^{\circ}$  C, todas las partículas permanecen en el disco. Los planetas y otros mundos pequeños se forman por la aglomeración de materia de estos discos circunestelares. Según la cantidad de materia disponible, la composición química y la temperatura, será la clase de mundos que se formen. Existen planetas sólidos y gaseosos, algunos con zonas líquidas.



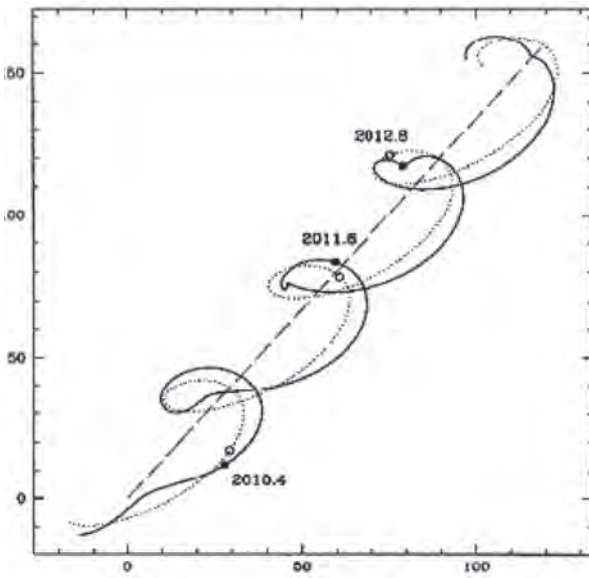
**Imagen 43.** Formación de un sistema planetario. Dentro de una nube del medio interestelar se genera una estrella (1). La nube gira, se forma un disco con la estrella en el centro (2). Los planetas se integran con el material del disco (3). Finalmente, la mayor parte de la materia de la nube original se integra a la estrella y los planetas (5) o se dispersa en el medio interestelar. En Phyllemis Education.

En el caso del Sistema Solar, los mundos cercanos al Sol son pequeños y rocosos, mientras que los lejanos son grandes y gaseosos. Esto se debe a que cerca de nuestra estrella se evaporaron casi todas las sustancias volátiles. Además, en torno al Sol había menos materia que aglomerar. El Sol y los planetas gigantes como Júpiter y más lejanos se formaron con las sustancias de la nube que les dio origen; tuvieron más materia a su disposición, por eso son de mayor tamaño que la Tierra. Al buscar otros mundos, lo primero que se halló fueron los discos circunestelares (anillos de polvo que reflejan luz de la estrella o que emiten luz infrarroja proveniente de su calentamiento). Un disco de materia refleja una mayor cantidad de luz que un planeta, así que es más sencillo de observar. Está formado por gas y muchísimos trillones de granos de polvo, este material se aglomerará para dar origen a nuevos mundos.



**Imagen 44.** Observaciones de discos circunestelares fotografiados en radiación infrarroja. En Fundación para el conocimiento. Madrid.

Para hallar planetas que giran en torno a otras estrellas se han empleado métodos indirectos. Podemos suponer, en una primera aproximación, que una estrella se mueve en línea recta. Si tuviera uno o varios cuerpos masivos girando alrededor suyo, la atraerían primero en una dirección y después en otra; en consecuencia, su trayectoria en lugar de ser recta tendría bucles. Y precisamente durante los últimos años se han descubierto centenares de estrellas con variaciones de dirección (vaivenes), lo cual permite conjeturar que tienen compañeros muy débiles: algunas estrellas u otros planetas.



**Imagen 45.** La línea sólida muestra la trayectoria de una estrella con un compañero planetario cuya trayectoria es la línea punteada. En Universidad de Jena.

Sabemos que los grandes planetas del sistema solar poseen decenas de lunas, algunas con agua (como Europa y Calixto de Júpiter) y otras con atmósfera como Titán, de Saturno. Los nuevos exoplanetas recién descubiertos también podrían tener satélites sorprendentes aun cuando sean demasiado débiles para ser fotografiados.

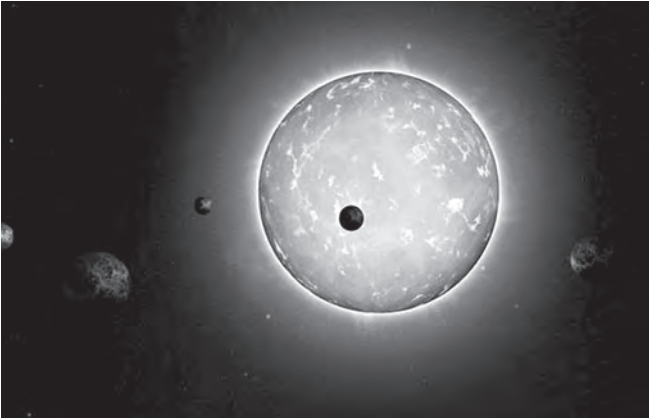
Como adivinarás, el gran interés que se ha puesto en descubrir planetas con atmósfera, hielo o agua, se debe a lo interesante que sería encontrar vida fuera de

la Tierra, sobre todo si fuera inteligente. Hasta la fecha no se ha descubierto ninguna estructura compleja de moléculas similar al ADN en ningún exoplaneta.

Durante los últimos años la definición de planeta se ha enriquecido, no sólo existen planetas que giran alrededor de otras estrellas, sino que se han descubierto mundos sin estrellas. Es decir astros tipo Júpiter que se trasladan en torno del centro de la Galaxia como si fueran estrellas, tal vez acompañados de anillos y satélites.

El descubrimiento de planetas extrasolares es un ejemplo de cómo la ciencia avanza. En este caso los investigadores supusieron que podría haber planetas fuera del sistema solar. Además, sabían que contaban con la tecnología para observar el pequeño cambio en las velocidades de la estrella a la que pertenece el planeta, y finalmente publicaron los resultados para que la comunidad los analizara, los reprodujera y opinara.

En este siglo se construyó el telescopio espacial Kepler, para estudiar los tránsitos de los exoplanetas cuando pasan delante de su estrella. Al hacerlo absorben parte de su luz. Dependiendo de la cantidad de luz que absorben se puede estimar su tamaño, así como determinar si tienen anillos. ¡Existe un súper Saturno 200 veces más grande que el nuestro! La luz que absorben los mundos extrasolares también indica si tienen atmósfera y de qué está compuesta.



**Imagen 46.** Se pueden determinar las propiedades de un exoplaneta cuando pasa delante de una estrella. Dependiendo de la cantidad y el tipo de luz que absorba se puede conocer su tamaño, si tiene atmósfera con agua, e incluso si posee anillos. En cienciaaldia.com.



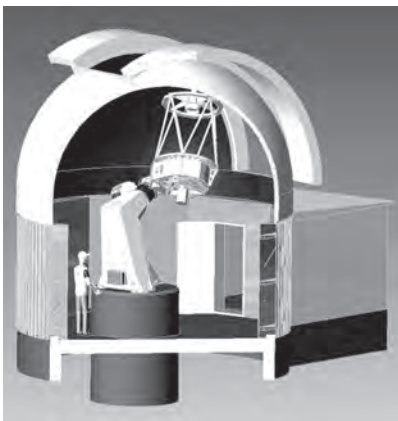
**Imagen 47.** El telescopio Kepler se construyó para analizar los tránsitos de exoplanetas. En Kepler Space Telescope.



**Imagen 48.** Algunos de los múltiples exoplanetas habitables. En Telescopio de Arecibo.

Al inicio se buscaron exoplanetas en torno de estrellas brillantes, porque es más sencillo analizar astros muy luminosos que débiles. Sin embargo, poco a poco se fueron descubriendo planetas con agua alrededor de las estrellas más pequeñas, las enanas rojas. Estas estrellas viven mucho más que el Sol, si tuvieran planetas con vida ésta tendría más tiempo para evolucionar y ser capaz de desarrollar una civilización. Las estrellas enanas rojas son mucho más abundantes que el resto; a la naturaleza le es más sencillo formar objetos pequeños que grandes, pues se requiere menos materia. Existen millones de enanas rojas cercanas a la Tierra. Se están construyendo telescopios especiales para analizarlas y descubrir si tienen compañeras. Incluso un telescopio estará en México, como parte del proyecto Saint-Ex, en honor del autor de *El principito*, Antoine de Saint-Exupery.





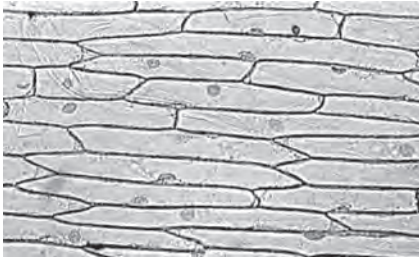
**Imagen 49.** Diseño de los telescopios reflectores y sus cúpulas del proyecto Saint-Ex destinados a la búsqueda de planetas extrasolares. En Universidad de Berna.

Cuando Copérnico propuso que la Tierra gira en torno al Sol y Galileo probó su idea, se provocó un escándalo, ya que se demostró que no estábamos en el centro del universo. Ahora ya sabemos que nuestro sistema solar es uno de miles, comprobamos una vez más que no somos nada especial.

### **La búsqueda de vida extraterrestre**

Reflexionemos un instante sobre la vida: es sorprendente que seamos capaces de pensar, crear, cantar, amar. Imaginemos lo que sería descubrir vida inteligente fuera del Sistema Solar.

Una característica de la vida es que consume energía y nutrientes y los transforma en algo distinto. Nosotros, como algunas plantas, somos un conjunto de miles de millones de células.



**Imagen 50.** Células de una cebolla. En [lacienciaesbella.blogspot.com](http://lacienciaesbella.blogspot.com).



**Imagen 51.** Células de piel humana. En [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com).

Las células son las unidades fundamentales de la vida y poseen tres características: crecen, se reproducen, pueden interactuar con otras células, incluso cambiar material genético e intercambiar sustancias con el entorno. Para efectuar sus funciones las células requieren de agua, nutrientes y energía; las plantas la obtienen del Sol, los animales de las plantas y otros seres vivos.

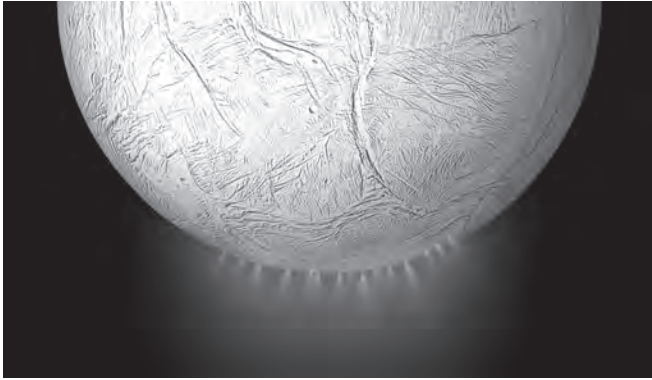
Toda la vida en la Tierra posee cadenas de ácido desoxirribonucleico. No sabemos si exista vida en otros sitios y si sea como la que conocemos.

Antes de continuar, comentemos algo más sobre el origen de la vida en la Tierra, para imaginar los sitios donde podría surgir.

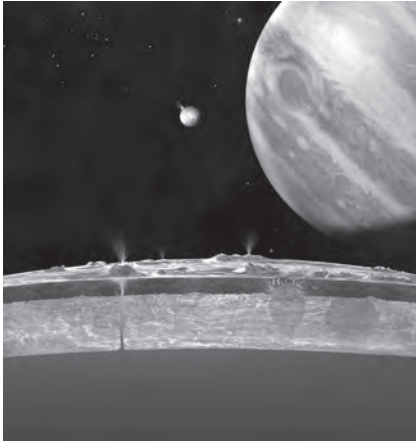
El problema del origen de la vida es un asunto no resuelto. Los científicos quisiéramos crear vida en el laboratorio, aunque no fuese como la conocemos; a partir de átomos y energía quisiéramos crear entes similares a una célula, capaces de interactuar con el medio ambiente, crecer, transformarse y reproducirse.

Contamos con evidencia que muestra que toda la vida en la Tierra tuvo un origen común: surgió hace 3,900 millones de años. Durante mucho tiempo se pensó que se generó en el mar, ya que el agua es necesaria para toda la vida en la Tierra. Sin embargo, allí las sustancias necesarias para formar vida están demasiado diluidas.

A raíz del descubrimiento de moléculas orgánicas emanadas de los géiseres de Encelado (uno de los satélites de Saturno), aunado a la existencia de océanos en Europa (una luna de Júpiter), así como la gran diversidad de vida que existe en torno de las chimeneas hidrotermales submarinas terrestres, se ha repensado en otras posibilidades para el origen de la vida en la Tierra.



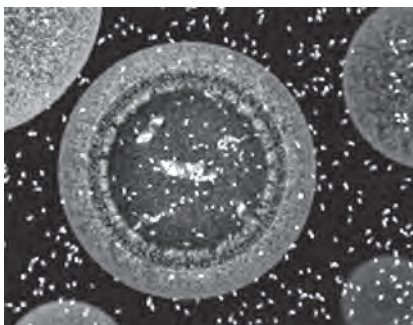
**Imagen 52.** Géiseres de Encelado. En Cassini, NASA.



**Imagen 53.** La luna Europa de Júpiter posee un mar subterráneo debajo de una cubierta de hielo. En ESO/NASA.

Uno de los nuevos modelos para explicar el origen de la vida en la Tierra sugiere que hace unos 4 mil millones de años caían numerosos cometas en la superficie, aportando agua y moléculas orgánicas, aminoácidos. Estas sustancias fueron arrastradas por

riachuelos hasta sitios donde había fuentes geotermales, que son ricas en elementos como fósforo, magnesio y hierro; allí se acumularon y se volvieron más complejas. Conforme pasó el tiempo, moléculas de lípidos las encapsularon. Gracias a la energía de las fuentes geotermales los compuestos encapsulados formaron cadenas moleculares que poco a poco se encapsularon en geles.



**Imagen 54.** Protocélula.  
En [www.nsf.gov](http://www.nsf.gov) (National Science Foundation).

Después de innumerables temporadas de secas y lluvia, sólo sobrevivieron los conjuntos más resistentes. Las protocélulas mejor adaptadas se distribuyeron a otros sitios durante la época de lluvias, arrastradas por riachuelos, y se fueron adaptando al nuevo ambiente. Finalmente, algunas protocélulas lograron la fotosíntesis, es decir, transformaron  $\text{CO}_2$  y energía solar en azúcares, agua y oxígeno, dando inicio a los primeros procesos generadores de vida. Cuando estos conglomerados llegaron al mar ya eran capaces de

reproducirse. Los que se adaptaron formaron estromatolitos. Además, enriquecieron la atmósfera con oxígeno que aprovecharon otros organismos para su desarrollo y subsecuente evolución.

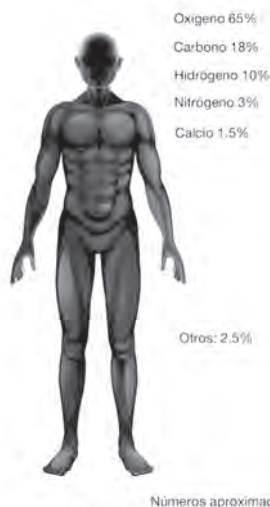


**Imagen 55.** Estromatolitos, estructuras carbonatadas que forman biopelículas y bacterias capaces de realizar fotosíntesis. En Proyecto Biósfera.

El proceso antes descrito tomó unos 200 millones de años en llevarse a cabo, después de innumerables ensayos de creación y destrucción se formó la vida, la cual todavía no es posible de crear en laboratorios.

Con la exploración de los satélites Europa y Encelado, así como las observaciones de planetas extrasolares que contienen agua, es posible que descubramos otras formas de organismos complejos y lleguemos a modelos innovadores para explicar el origen de la vida en la Tierra y en otros sitios.

Lo más sencillo para buscar vida extraterrestre es imaginar que existe vida similar a la nuestra en otros sitios del universo. Se deben descubrir condiciones necesarias para que haya vida como la que conocemos: agua, una fuente de energía, elementos químicos abundantes más pesados que el hidrógeno y el helio, muy en particular C, N, O, Mg, P, Ca, Fe, etcétera.



**Imagen 56.** Principales elementos químicos que forman el cuerpo humano: O, C, H, N. En [www.bioenciclopedia.com](http://www.bioenciclopedia.com).

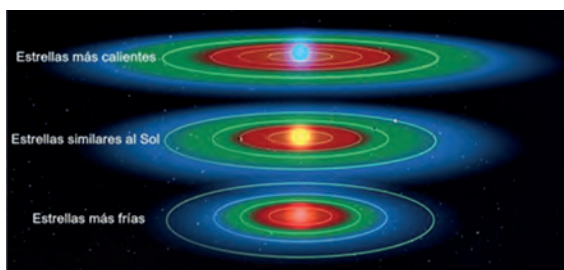
Dado que la vida humana en la Tierra tardó 3,900 millones de años en aparecer, y la mayor parte del tiempo constituyó colonias de bacterias, nos parece más difícil descubrir seres inteligentes que vida primitiva. Para conocer mejor las primeras formas de vida que tuvieron que adaptarse a un medio ambiente

hostil, se estudian los extremófilos terrestres, es decir, organismos que viven dentro de cuevas y que se desarrollan con base en compuestos azufrados, chimeneas hidrotermales, tundra, o fuentes hidrotermales.

El proyecto SETI está dedicado a buscar vida extraterrestre desarrollada tratando de detectar ondas de radio producidas por vida inteligente. Todavía no se encuentra ningún indicio, sin embargo el proyecto continúa.

La existencia de vida como la nuestra, que requiere un planeta, dependerá del número de planetas con agua que vivan en torno de una estrella de vida larga. Es decir, planetas alrededor de una gigante azul, que sólo vive un millón de años, no tendría tiempo de tener vida que evolucionara hasta producir una civilización.

Para que haya agua líquida en la superficie de un planeta se necesita una atmósfera y que el mundo esté dentro de la zona habitable, es decir, donde la temperatura del agua esté por encima de  $0^{\circ}\text{C}$  al menos en una época del año y por debajo de  $70^{\circ}\text{C}$ .



**Imagen 57.** Si se puede cambiar por: La zona habitable de distintos mundos es más cercana a la estrella cuando esta es más fría. En [www.cosmonoticias.org](http://www.cosmonoticias.org)



Aunque un planeta esté en la zona habitable, si es demasiado pequeño como la Luna no retiene agua. Si es demasiado grande, la presión atmosférica y la gravedad son inmensas y seres como nosotros no podríamos sobrevivir allí. Puede haber satélites como Europa y Ganimedes que no están en la zona habitable y tienen agua líquida. Esto se debe a la interacción gravitacional con su planeta y satélites cercanos, que cíclicamente los estiran y los encogen con el subsecuente calentamiento.

Franz Drake escribió una ecuación para tratar de estimar la probabilidad de encontrar vida extraterrestre en otros sitios. Drake se dio cuenta que para el origen de vida inteligente se necesitaban mundos y fuentes de energía proveniente de estrellas.

Entre más estrellas existan que vivan suficiente antes de estallar, con más planetas, que tengan agua, etcétera, será más fácil que se desarrolle la vida y llegue a producir seres capaces de crear tecnología. El número de civilizaciones inteligentes en nuestra galaxia, según Drake, estaría dado por:

$$N = R^* f_p n_e f_i f_c L$$

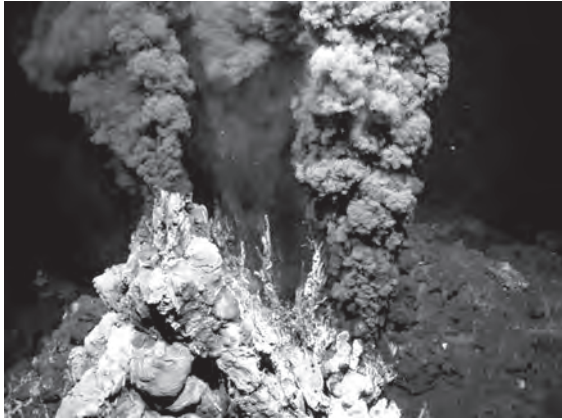
Donde  $N$  es el número de civilizaciones inteligentes,  $R^*$  es la tasa de formación estelar en nuestra galaxia,  $f_p$  es la fracción de esas estrellas que forman planetas y el número de planetas que cada una tiene dentro de la zona habitable;  $n_e$  es el número de planetas que cada una tiene y que está dentro de la zona habitable,

$f_1$  es la fracción de esos planetas capaces de desarrollar vida,  $f_i$  es la fracción de esos planetas donde se ha desarrollado vida inteligente,  $f_c$  es la fracción de estas civilizaciones que han desarrollado radio-tecnología e interés por transmitir señales al espacio y  $L$  es la distancia a la que se pueden propagar las señales.

Cuando Drake propuso esta expresión no se habían descubierto planetas extrasolares, ahora estaría sorprendido de saber que alrededor de todas las estrellas cercanas estudiadas se han encontrado mundos.

Aunque la vida en la Tierra surgió hace 3,900 millones de años, nuestra civilización capaz de enviar y recibir señales de radio del espacio lleva casi un siglo. Hasta el momento no se ha encontrado ninguna señal que tenga un origen de lo que pudiera provenir de alguna inteligencia inteligente fuera de la Tierra. Dada la enorme cantidad de planetas que tienen condiciones para albergar vida, es posible que en un futuro cercano encontremos evidencia de su existencia.

Con la tecnología moderna nos es imposible viajar a planetas fuera del Sistema Solar para explorarlos directamente.



**Imagen 58.** En la vecindad de las chimeneas hidrotermales se han desarrollado numerosas especies cuya principal fuente de energía es la geotérmica y los compuestos azufrados. En [worldoceanreview.com/en](http://worldoceanreview.com/en).

### **La vida de las estrellas**

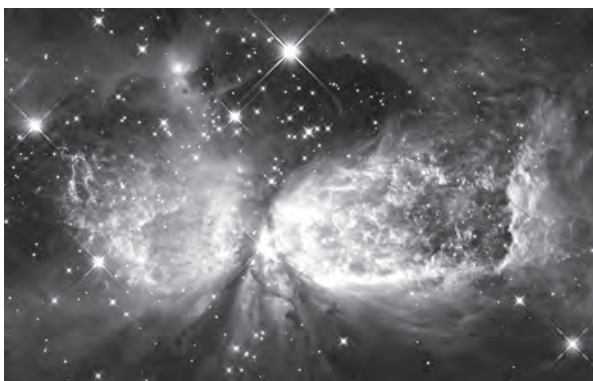
Una pregunta interesante es saber cuánto tiempo vivirá el Sol. Para comprenderlo primero haremos una analogía con los seres humanos. Si buscamos en la red cuál es el promedio de vida de los mexicanos, encontraremos que es de 77 años. Esto se conoce por medio de estadísticas, conociendo a qué edad mueren las personas cada año. Sabemos que unas personas viven más que otras y esto depende de su salud y si se dedican a actividades de alto riesgo. Si vemos una foto del Zócalo un día de fiesta, veremos que hay muy pocos bebés y personas muy mayores en comparación con los adultos, así sabremos que un humano pasa la mayor parte de su vida como adulto.



**Imagen 59.** Si observamos una multitud de personas en el Zócalo, notaremos que predominan los adultos, eso nos hará pensar que pasaremos la mayor parte de nuestra vida en esa etapa. En [www.jornada.com](http://www.jornada.com).

Pues algo similar sucede con las estrellas; podemos observar millones, algunas están en proceso de formación, otras más en sus etapas finales, cuando se desprenden de sus atmósferas, pero la gran mayoría están en etapas estables, como el Sol. Así podemos inferir que la vida del Sol es de millones de años.

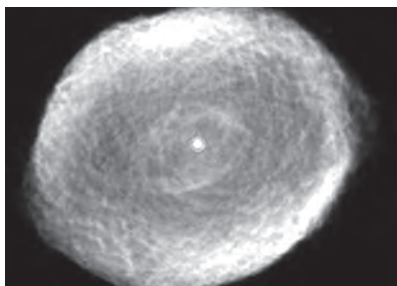
Así como sabemos cómo son los partos, podemos imaginar la manera en que nacimos nosotros; su duración es muy corto respecto de nuestra vida. También podemos inferir dónde nació el Sol y cuánto tiempo tardó en formarse observando nubes de gas y polvo donde nacen las estrellas.



**Imagen 60.** En nubes como S106 se forman todo tipo de estrellas, algunas parecidas al Sol, cuyo proceso de formación es de unos 200 mil años; lo cual es poco comparado con su vida de estrella adulta, que es de 9 mil millones de años. Una vez que nacen las estrellas el material sobrante de la nube se dispersa en el medio interestelar. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Uno de los resultados más importantes de la física se refiere a que la materia se puede transformar en energía y viceversa. Es posible que el lector esté familiarizado con la ecuación  $E=mc^2$ . La  $E$  significa la energía, como la que producen las estrellas al convertir materia en energía. Las estrellas transforman parte de su materia en energía en los núcleos, por medio de reacciones termonucleares. La  $m$  de la ecuación representa la masa que se transforma en energía. Además de realizar estadísticas para conocer la vida de las estrellas podemos hacer cálculos. Como sabemos cuánta materia tiene el Sol en su núcleo, que es donde hay condiciones para que se lleven a cabo las reacciones de transforma-

ción de materia en energía, sabemos cuánto tiempo vivirá. Cualquier otro combustible no lograría que las estrellas vivieran millones de años. Aunque el Sol estuviera formado por oxígeno y el mejor petróleo mexicano, su combustión sólo alcanzaría para que viviera miles de años, mucho menos que la edad de los restos fósiles de los dinosaurios.



**Imagen 61.** Sabemos que el Sol vivirá otros 4,500 millones de años antes de desprenderse de su atmósfera y convertirse en una estrella enana blanca con una envolvente en expansión. En NASA.

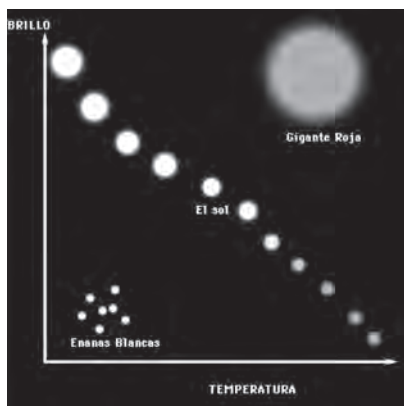
Así, los astrónomos usamos varios métodos para nuestras estimaciones. De manera equivalente a que yo sé que viviré más o menos hasta los 79 años, o tal vez un poco más porque mis tías vivieron hasta los 90 y todavía estoy sana.

No todas las estrellas son iguales, así como no todos los animales son iguales y su longevidad varía. El tiempo de vida de una estrella depende de su masa y de la cantidad de materia que posee. Las estrellas brillan porque en sus núcleos se llevan a cabo reacciones termonucleares. Éstas se producen cuando se fusionan, se unen átomos de hidrógeno para formar helio;

durante el proceso parte de su materia se transforma en energía: recordemos la famosa expresión:  $E = mc^2$ . En los núcleos de las estrellas más grandes la presión es mayor y por tanto las reacciones nucleares son más eficaces. Las estrellas masivas consumen más rápido su combustible nuclear, son más calientes y viven menos.

El color de una estrella depende de su temperatura y, como acabamos de explicar, de su masa. Así, las estrellas más masivas son más grandes y calientes que el Sol y que las llamadas estrellas enanas rojas. En orden decreciente de temperatura las estrellas son azules, verdes, amarillas, naranjas y rojas. Los colores de las estrellas no se distinguen a simple vista porque son muy débiles y los sensores de luz de nuestros ojos no los perciben bien.

**Imagen 62.** Los astrónomos acomodamos a las estrellas en un diagrama de brillo contra temperatura. La estrella gigante roja será una de las etapas de nuestro Sol cuando esté a punto de perder su atmósfera. En [astronopedia.com.mx](http://astronopedia.com.mx).



## Las galaxias

Los conglomerados estelares por excelencia son las galaxias. La Vía Láctea, que es la agrupación a la que pertenece el Sol, posee cien mil millones de estrellas, cada una con sus planetas y cuerpos menores; incluye nubes de gas y polvo donde nacen las estrellas y, sobre todo, halos de materia oscura que las mantienen unidas; de otra manera las estrellas se escaparían.



**Imagen 63.** Cúmulo de galaxias. Cada objeto de aspecto nebuloso es un conglomerado de miles de millones de estrellas. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Las galaxias tienen distintas masas y formas que permiten clasificarlas. Las elípticas pueden ser de tamaño gigante, intermedio y chico. Sus masas van desde un millón hasta cien billones de masas solares (un billón en un millón de millones). Son las más abundantes. Las galaxias elípticas han agotado casi todo su gas y en consecuencia casi no forman estrellas. En la



región central de los mayores cúmulos de galaxias se encuentran una o dos galaxias elípticas muy masivas que alcanzan masas hasta de 100 billones de masas solares cada una; se formaron por fusión de varias galaxias, algunas incluso poseen dos núcleos que previamente pertenecían a galaxias distintas.



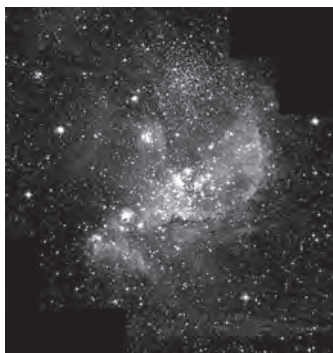
**Imagen 64.** Las galaxias gigantes elípticas son las más evolucionadas. Contienen mucha menor cantidad de gas que las espirales y aún menos que las enanas. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Las galaxias espirales son intermedias, con masas entre 3,000 millones y un billón de masas solares. Son las más hermosas; de canto se ven aplanadas y de frente tienen espectaculares brazos formados por estrellas jóvenes y gas que las hacen parecer remolinos o rehiletes.



**Imagen 65.** Galaxia espiral. La región central es la más brillante pues es donde la densidad de estrellas es mayor. Los brazos espirales contienen nubes de formación estelar y dominan el disco de la galaxia. En la parte externa del plano de la galaxia se observan nubes oscuras donde, en un futuro, nacerán nuevas estrellas. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Las galaxias irregulares son enanas, poseen entre 100 y 3,000 millones de masas solares. Contienen gran cantidad de gas donde se forman estrellas nuevas. Las galaxias enanas suelen ser satélites de las gigantes.

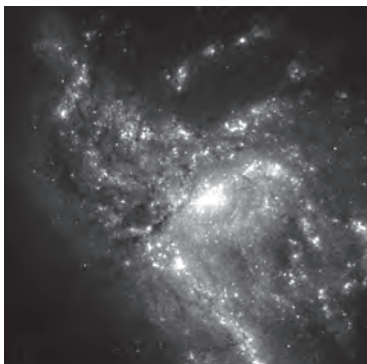


**Imagen 66.** Las galaxias enanas son las más abundantes. Son las que poseen menor masa y mayor cantidad de gas. Son el tipo de galaxias más abundantes que existen. No han sido estudiadas con tanto detalle como las galaxias espirales porque la astronomía favorece el análisis de los objetos más brillantes, ¡son más sencillos de observar! En NASA.

Las grandes galaxias como la nuestra se han formado por la fusión de galaxias más pequeñas.



**Imagen 67.** Las galaxias se pueden fusionar para formar otras mayores. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).



**Imagen 68.** La fusión de galaxias favorece su crecimiento. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

La mayor parte de la materia del universo es invisible, por eso se llama materia oscura. Forma halos alrededor de las galaxias. No podemos ver directamente la forma de nuestra galaxia porque el Sistema Solar está sumergido dentro de uno de sus

brazos espirales. Sin embargo, estudiando otras galaxias hemos podido inferir cómo es la nuestra. Además, podemos corroborar nuestros resultados observando la Vía Láctea con ondas de radio. Éstas atraviesan a nuestro conglomerado estelar con poca interferencia y nos permiten conocer la cantidad de gas que posee, su distribución y velocidad. Así, la astronomía emplea técnicas distintas para ir construyendo el conocimiento de los astros.

Algunas galaxias poseen hoyos negros súper gigantes en los núcleos; cuando capturan material éste gira en torno suyo y se calienta, produce chorros de materia que se expulsan al espacio y se observan a distancias enormes, incluso en ondas de radio.



**Imagen 69.** En la parte central de la imagen se observa una galaxia en cuyo centro existe un hoyo negro de millones de masas solares que, al capturar materia, se calienta a tal grado que produce inmensos radio lóbulos. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

## **Distancia a las estrellas**

Determinar la distancia a los astros ha tomado siglos; se ha logrado gracias al ingenio de las personas, su trabajo en equipo y al desarrollo de tecnología. Ahora conocemos la distancia a las estrellas cercanas, las galaxias y, al medir el brillo de las supernovas, el tamaño del universo observable.

Si miramos el cielo estrellado sin ningún equipo, notamos que no tenemos manera de conocer la distancia a las estrellas, no se puede calcular a simple vista. Aun para objetos que solemos ver a menudo, como la Luna, no podemos estimar su tamaño, distancia ni velocidad. Encontrar la distancia a los astros es una manera fascinante de acercarnos a la creatividad de los astrónomos.

La palabra astronomía viene de una voz griega que significaría “disciplina que le pone nombre a los astros”. Ya que en el pasado sólo observábamos el cielo a simple vista. Acomodamos a las estrellas en constelaciones, grupos arbitrarios de estrellas y les pusimos nombres. Ahora la astronomía es la astrofísica, y gracias a ella podemos conocer la naturaleza de los astros de manera científica y entre otras cosas saber sus distancias.



**Imagen 70.** En el pasado sólo se conocían las posiciones de unas estrellas respecto de otras medidas en unidades angulares. Las agrupamos en constelaciones y les pusimos nombres. En [www.astronomiaonline.com](http://www.astronomiaonline.com).

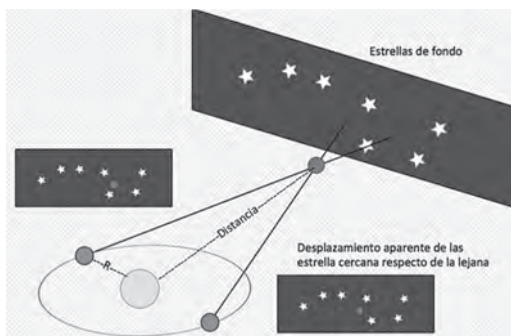
A continuación describiremos varias maneras de estimar distancias, comenzando por los métodos para los planetas y las estrellas cercanas y, más tarde, los de las más alejadas y las galaxias.

La distancia a la Luna y los planetas se puede calcular empleando un radar: se manda una señal al objeto en cuestión y, midiendo el tiempo que la señal de radio tarda en ir al objeto, rebotar en la superficie y regresar, podemos saber qué tan alejado está; entre más alejado mayor tiempo tardará la señal del radar en llegar hasta donde está y regresar hasta la Tierra.

La distancia a las estrellas puede estimarse por la paralaje. Si colocas tu índice frente a la cara y observas con un ojo y después con el otro, notarás que parece desplazarse respecto a algún objeto distante. Si ahora

estiras el brazo lo más posible y vuelves a mirar el dedo con un ojo y después con el otro, notarás que se desplaza menos. Si el dedo está cerca de tu cara parecerá desplazarse mucho y si está lejos poco. Cuando observamos a las estrellas cercanas desde dos puntos distintos de la órbita de la Tierra, parecen desplazarse respecto de astros más remotos y de esta manera se estima su distancia. Entre menor sea el desplazamiento estarán más alejadas. Cabe notar que la mayor parte de las estrellas son tan distantes que no parecen desplazarse cuando las observamos desde dos puntos opuestos de la órbita terrestre; por eso se pueden emplear para medir distancias de los objetos cercanos.

Así que, conforme se traslada la Tierra en torno al Sol, las estrellas cercanas se ven proyectadas respecto de las lejanas y de esta manera, aplicando trigonometría, podemos estimar sus distancias.



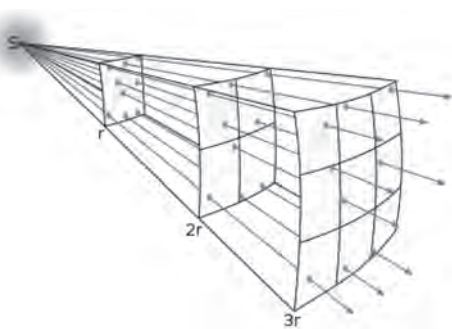
**Imagen 71.** Las distancias a las estrellas cercanas se calculan por su paralaje. Si la distancia al Sol es  $R$  y se mide el ángulo cuyo vértice está en la Tierra, se puede calcular la distancia a la estrella.



**Imagen 72.** Por medio de la paralaje se puede calcular la distancia al cúmulo de estrellas Híades, que es relativamente cercana. Puesto que están todas más o menos a la misma distancia, se pueden comparar unas con otras y saber cuáles son más brillantes. En earthsky.org.

La intensidad de una fuente de luz disminuye con el cuadrado de la distancia que nos separa de la fuente. Si imaginamos que una fuente de luz emite radiación en todas direcciones, podemos suponer que esos fotones tendrán que atravesar esferas que rodean a la fuente cada vez más distantes. Comparemos la cantidad de luz que atraviesa una esfera de radio igual a 1 y otra con radio igual a  $r$ . Dado que la superficie de una esfera es:  $4 \pi r^2$ ; el cociente entre ambas esferas será:  $4 \pi 1^2 / 4 \pi r^2 = 1 / r^2$ . Así que una vez que conocemos la distancia a las estrellas más cercanas, podemos estimar las distancias a las que están más lejos al medir la disminución de su brillo.





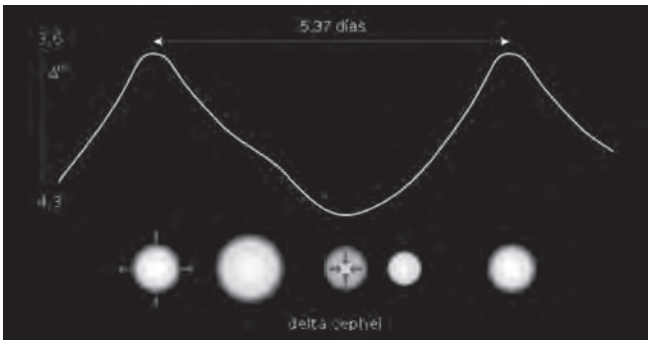
**Imagen 73.** La intensidad de la luz disminuye con el cuadrado de la distancia, por eso nos cuesta trabajo leer de noche si estamos lejos de una lámpara. Otra propiedad de la naturaleza que disminuye con el cuadrado de la distancia es la fuerza de gravedad. Así, cuando estamos lejos de la Tierra, como un astronauta, sentimos que pesamos mucho menos. (Inverse-square law).

Sin embargo, no todas las estrellas son iguales, así que además del brillo se requiere del espectro, su gama de colores, que indica el tipo de estrella de que se trata, si es una estrella enana o una gigante. Si todas las estrellas fueran iguales, por ejemplo como el Sol, entre más alejadas estuvieran se verían más débiles. Sabemos que no todas las estrellas son iguales. Sin embargo las estrellas que poseen el mismo espectro tienen el mismo brillo intrínseco. Es decir, estrellas con el mismo espectro —la misma gama de color— que estén a la misma distancia se ven igualmente brillantes. Ahora, si medimos la magnitud de dos estrellas iguales, que tengan el mismo espectro pero que estén a diferentes distancias, el brillo observado será distinto: el menos brillante para la estrella más lejana.



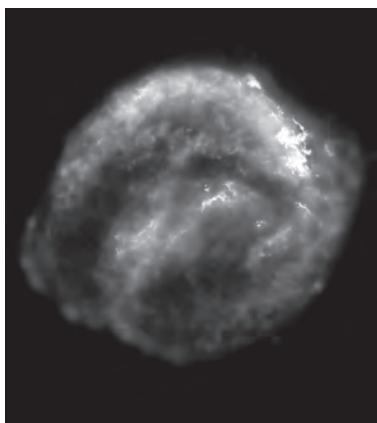
**Imagen 74.** El espectro de las Híades, un cúmulo de estrellas posee distintos brillos. Dado que todas están casi a la misma distancia, el brillo de sus espectros muestra que las gigantes son más brillantes que las enanas. En Observatorio McDonald.

Hay estrellas más distantes a las que no se les puede tomar el espectro porque la luz es demasiado débil. Para calcular sus distancias se emplean estrellas que oscilan, el periodo de oscilación depende de su brillo promedio, se conocen como cefeidas. Los periodos son de horas, días y meses. Entre más rápido oscilan su brillo intrínseco promedio es menor. Por lo tanto, si vemos dos estrellas que oscilan con la misma frecuencia y una es más débil que la otra, sabremos que está más lejos. Puesto que se pueden medir las oscilaciones de estrellas que están en otras galaxias, este método se emplea para determinar sus distancias. Por dar un ejemplo, la distancia a la galaxia de Andrómeda se pudo calcular en 1923, cuando no se sabía si las galaxias eran objetos pequeños de nuestra galaxia o grandes conglomerados estelares distantes.



**Imagen 75.** Las estrellas variables cefeidas oscilan, lo cual implica que su brillo aumenta y disminuye periódicamente. En Instituto Milenio de Astrofísica.

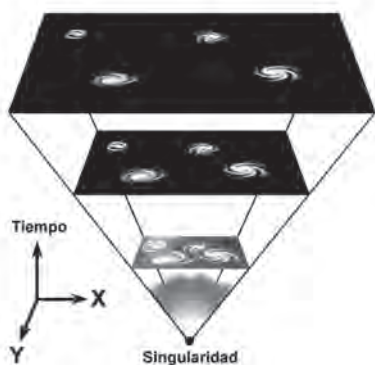
Una manera más de estimar la distancia de una galaxia tan alejada que no se pueden distinguir sus estrellas variables es observar los estallidos conocidos como las supernovas de tipo Ia. Son tan brillantes que se pueden medir explosiones a distancias considerables. Las supernovas de tipo Ia se producen cuando una estrella enana blanca atrae materia de una compañera. Cuando su masa llega a 1.4 masas solares implosiona (se contrae) sufriendo un posterior rebote y calentamiento. Dado que todas estas supernovas surgen de estrellas de la misma masa inicial (1.4 masas solares), sus brillos son similares. Así, si se mide el brillo es una supernova de tipo Ia, cuya distancia se conoce y, comparándolo con una supernova en una galaxia distante, se puede estimar su distancia.



**Imagen 76.** La explosión de una supernova de tipo Ia es tan brillante como la totalidad de una galaxia. Como todas las explosiones de ese tipo son igualmente brillantes, resultan ideales para calcular distancias, pues su luminosidad disminuye con el cuadrado de su distancia. En [www.space.com](http://www.space.com).

Las supernovas de tipo Ia han permitido determinar la distancia a las galaxias más lejanas con gran precisión. Se puede medir con relativa facilidad la velocidad de acercamiento o de alejamiento de los astros. A la radiación le sucede lo mismo que al sonido: con escuchar el sonido que produce la sirena de un vehículo sabemos si se acerca o se aleja de nosotros. Lo mismo sucede con la luz. Todas las galaxias más distantes se alejan de la nuestra y entre más distantes se encuentren su velocidad es mayor.

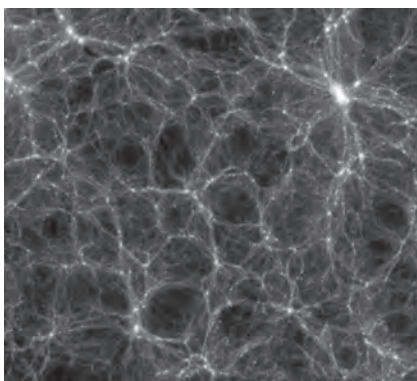
Esto significa que vivimos en un universo en expansión. Si medimos la velocidad de alejamiento de las galaxias podemos conocer la edad del universo que resulta ser de unos 13 mil 800 millones de años.



**Imagen 77.** Vivimos en un universo en continua expansión acelerada; entre más alejadas están las galaxias su velocidad es mayor. Singularidad es el punto a partir del cual se inició la expansión del universo. Ilustración de Alberto Galán.

Nos resulta difícil imaginar la medida del tiempo en astronomía pues suele ser mucho mayor que el de nuestra existencia. La evolución del universo se mide en miles de millones de años; es decir, decenas de millones de veces mayor que el lapso de existencia de un humano que viviera cien años.

La expansión del universo inició aproximadamente hace 13 mil 800 millones de años. El sistema solar se originó hace 4,500 millones de años, la vida en la Tierra surgió hace 3,900 millones de años. En comparación, la historia humana, es decir los registros escritos, lleva tan sólo 6,000 años. Las computadoras, los satélites, la aviación comercial y la televisión han existido hace menos de cien años, decenas de millones de veces menos que la evolución cósmica.



**Imagen 78.** Las galaxias forman estructuras conocidas como las telarañas cósmicas o estructura filamen-taria. En esta imagen cada punto representa un grupo de galaxias. En [skepticalscience.com](http://skepticalscience.com).

Vamos a dar ejemplos de distancias conocidas y las multiplicaremos por mil para darnos una idea de la dimensión del universo.

Un metro es el tamaño de un niño. Mil veces más es un kilómetro, la distancia de varias cuadas. Mil veces más es la separación entre dos ciudades; como la que separa a Matamoros de Los Mochis. Si volvemos a multiplicar será un cuarto de la distancia a la Luna. Nuestras sondas tardan varios días en llegar a la Luna. Mil veces más que eso es la distancia entre el Sol y Júpiter. Esta es la razón por la que las sondas tardan años en llegar hasta allá. Necesitaríamos mil veces más tiempo en llegar a las estrellas más cercanas; este es el motivo por el cual no se planea visitarlas en el corto plazo. Los cúmulos globulares están mil veces más lejos, y el diámetro de la Galaxia es otros tres ceros más lejos. El tamaño de los cúmulos de galaxias es mil veces mayor y para apreciar la estructura filamentaria se requiere otro tanto.

En otras palabras, la distancia entre Matamoros y Los Mochis es un millón de veces más que la estatura de un niño; la distancia a las estrellas más cercanas es un millón de veces más que la que nos separa de la Luna, y para apreciar la forma en que se aglomeran las galaxias en la estructura filamentaria del universo se necesitan tamaños millones de veces mayores que los de las propias galaxias.

Cabe resaltar que el espacio y el tiempo están relacionados. Debido a que la luz de los astros toma cierto tiempo en llegar hasta donde estamos, no los vemos como son el día de hoy sino como fueron en el pasado.

En el caso de una galaxia que se encuentra a 15 millones de años luz, la vemos como fue en esa época.

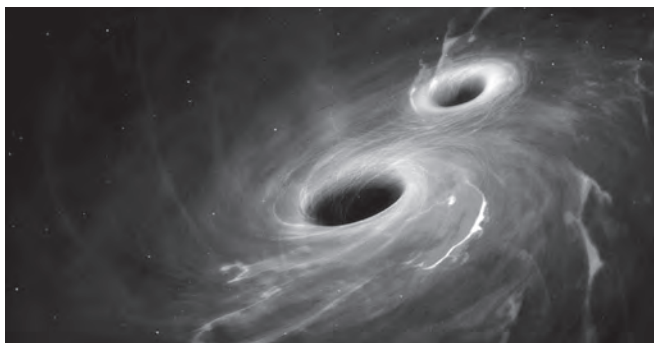
### **La gravitación universal**

La fuerza que domina en el universo es la fuerza de gravedad, es la que hace que un objeto caiga si lo soltamos, es la responsable de su peso. Si no fuera por la existencia de la energía oscura que expande al universo de manera acelerada, éste se colapsaría.

El primero en deducir que la fuerza de gravedad no sólo existe en la Tierra sino que actúa en todos los cuerpos del universo fue Isaac Newton. Él hizo ver que la fuerza de gravedad depende de qué tanta masa poseen los cuerpos, por eso pesa más un tanque lleno de agua que una mariposa. También mostró que la gravedad disminuye con la distancia. Así, no somos

engullidos por los hoyos negros de nuestra galaxia porque están muy alejados de nosotros. Newton supuso que la fuerza de gravedad actúa de manera instantánea; ahora sabemos que, como propuso Einstein, las ondas gravitacionales viajan a la velocidad de la luz.

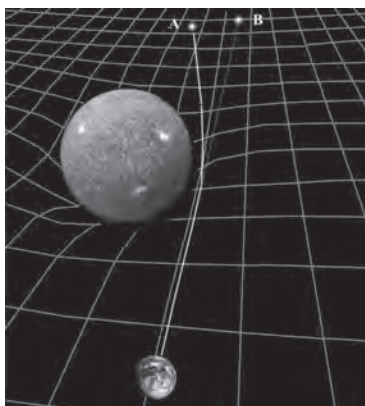
Cuando se fusionan dos hoyos negros para crear uno con mayor masa, además de un estallido de radiación se producen ondas gravitacionales que hacen oscilar los satélites que orbitan la Tierra. Si lanzas una pelota varias veces en varias direcciones y con distinta velocidad, notarás que tiene una trayectoria curva. Einstein sugirió que la pelota sigue la curvatura del espacio tiempo, que cada vez que se desplaza un astro seguirá un camino curvo porque la masa de los objetos celestes modifica el espacio.



**Imagen 79.** Cuando colisionan dos hoyos negros entre sí se producen ondas gravitacionales, éstas llegan a la Tierra y la deforman ¡muy poco! Midiendo estas deformaciones podemos conocer las propiedades de las ondas gravitacionales y las de los objetos que las generan. En [www.sciencenews.org](http://www.sciencenews.org).

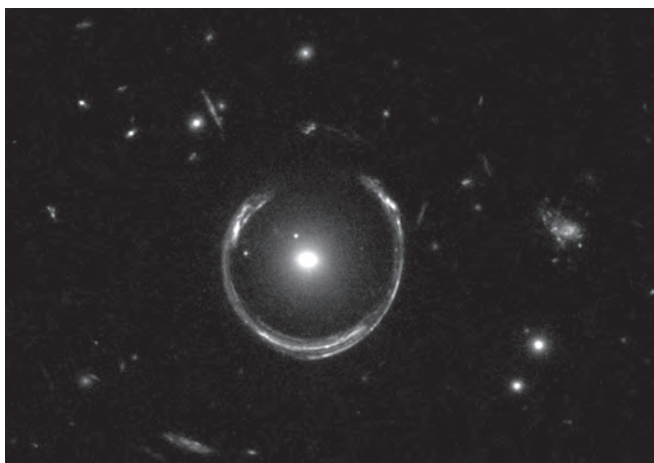


La explicación que dio Newton a la gravitación es útil para nuestra vida cotidiana, la de Einstein es fundamental cuando queremos conocer el universo en su conjunto, como los sitios en donde la atracción de la gravedad es tan alta que modifica la trayectoria de la luz, como sucede en la vecindad de las estrellas.



**Imagen 80.** Los objetos masivos deforman la estructura del espacio y del tiempo. Por ejemplo, si un haz de luz pasa cerca del Sol se dobla. Así, en lugar de observar un objeto donde está (A) nos da la impresión de que está en otro sitio (B), pues estamos habituados a que la luz viaje en línea recta. En Instituto Argentino de Radioastronomía.

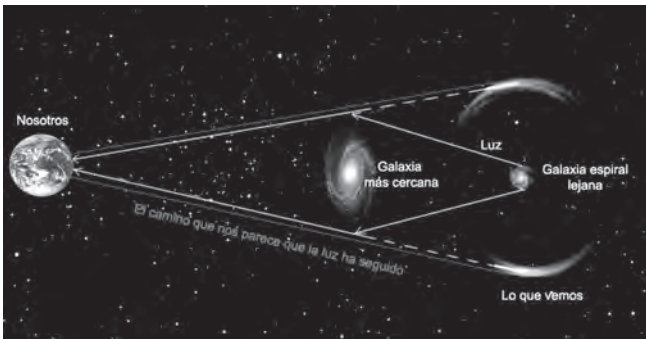
Cuando se observa una galaxia es probable que no esté en la dirección donde se ve, porque su luz se ha desviado y cambiado de dirección en su recorrido por el cosmos; esto se debe a la presencia de cuerpos masivos que están en el trayecto de la luz entre la galaxia y la Tierra.



**Imagen 81.** Este anillo es una lente gravitacional. Su luz proviene de una galaxia distante que sufrió una deflexión al pasar por la vecindad del hoyo negro súper masivo que está en el centro de la galaxia elíptica, el objeto nebuloso. En [hubblesite.org](http://hubblesite.org).

Un efecto espectacular es el de las lentes gravitacionales. Cuando una galaxia se encuentra detrás de otra donde hay un hoyo negro súper masivo y un halo de materia oscura, la luz de la galaxia más distante se desvía al pasar por la vecindad de la galaxia más cercana produciendo varias imágenes. Se tiene la certeza de que cada imagen observada alrededor de la galaxia cercana pertenece a la lejana porque tiene el mismo espectro, indicación clara de que se trata del mismo objeto.

El espectro de una galaxia formada por miles de millones de estrellas, gas y polvo es único, y éste nos permite descubrir la unicidad de cada conglomerado estelar; es como el *DNA*, distinto para cada especie.

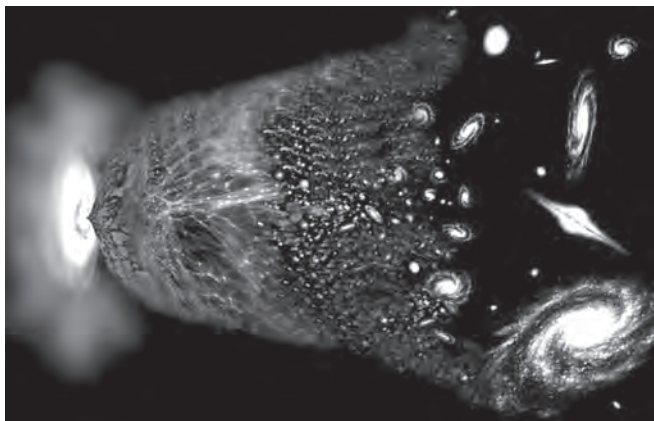


**Imagen 82.** Las lentes gravitacionales producidas por la intensa gravedad de los hoyos negros en los núcleos de algunas galaxias cambian la dirección de la luz proveniente de galaxias más distantes. En [ramanujan25449.blogspot.com/](http://ramanujan25449.blogspot.com/) (Obstinados navegantes en océanos de incertidumbre).

### **El origen del universo (cosmología)**

El mayor reto de la astronomía es conocer el origen y la evolución del universo y de todos los cuerpos que lo integran. La gran pregunta sobre por qué hay universo, o alguna deidad, o cualquier otra cosa no tiene respuesta. Lo que sí podemos hacer es describir cómo se formó nuestro universo, la manera en que ha evolucionado hasta nuestros días y predecir su futuro.

En esta sección describiremos el modelo estándar de la Gran Explosión. Es una de las explicaciones más elegantes para entender el origen y la evolución del universo.

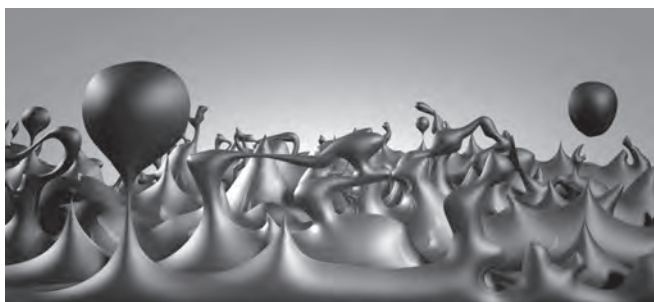


**Imagen 83.** Modelo estándar de la gran explosión: propone que el universo se originó gracias a una liberación de energía del vacío. Ahora nosotros habitamos en una de las galaxias que llegó a ser lo que es, después de 13 mil 800 millones de años de evolución cósmica. En [www.astronomía.com](http://www.astronomía.com).

Para la ciencia el universo es todo: el espacio, el tiempo, la materia y la energía. Tiene la particularidad de estar en continua evolución. No sólo cada objeto cambia, sino que el cosmos en su conjunto se transforma. Sus dimensiones temporales y espaciales son mucho más grandes que las que empleamos en nuestra vida cotidiana. Si la edad del universo es de 13 mil 800 millones de años, los objetos más alejados que podríamos observar serían aquellos cuya luz tardó 13 mil 800 millones en recorrer la distancia que nos separa.

De manera muy sintética, el modelo estándar de la gran explosión propone que hace 13 mil 800 millones

de años hubo una liberación importante de energía del vacío. Se formó el espacio y se comenzó a expandir. A partir de la energía liberada se creó materia; recordemos la expresión  $E = mc^2$ . Además de materia común —la de los elementos de la tabla periódica— se formó materia oscura, la que detectamos por la atracción gravitacional que ejerce sobre los objetos visibles. Conforme el universo se fue expandiendo, se enfrió. A medida que el cosmos se fue enfriando se formaron los primeros átomos, el hidrógeno y el helio; esto sucedió cuando el universo tenía menos de tres minutos de iniciada su expansión. Mucho después, cuando estaba suficientemente frío, los átomos se aglomeraron para integrar las primeras nubes con las primeras estrellas. Estas nubes de gas con las primeras estrellas se unieron para formar galaxias, que fueron creciendo e incorporándose unas a otras. Las estrellas evolucionaron formando nuevos elementos químicos que arrojaron al espacio durante sus muertes violentas. Las nuevas generaciones estelares reciclaron estos materiales hasta dar origen a los sistemas planetarios y a la vida. Nosotros vivimos en una de las cien mil millones de galaxias del universo que forman la telaraña cósmica. El universo sigue en expansión.



**Imagen 84.** La energía del vacío fluctúa de manera aleatoria. Es capaz de liberar energía para formar un universo. En [www.medium.com](http://www.medium.com).

Existen varias observaciones que validan el modelo estándar de la Gran Explosión. Si medimos la expansión del cosmos, sabemos que ésta tuvo un origen y cuándo fue. Por cierto, no se ha descubierto ningún astro cuya edad sea mayor a los 13 mil 800 millones de años. El universo es homogéneo. Es decir, las galaxias son muy parecidas en todos lados, poseen la misma composición química y una estructura similar; esto significa que tuvieron el mismo origen. Si la física fuera distinta en lugares diferentes del cosmos los astros no serían tan parecidos en todas direcciones.

Regresando a la energía que dio origen al cosmos, para imaginarnos una situación aleatoria como la que ocurre en las fluctuaciones del vacío, basta con inflar un globo sin amarrarlo y soltarlo. Su trayectoria será impredecible. Ésta es la física de este siglo, la física del caos. Una pequeña variación en el grosor del látex del globo, la temperatura del aire dentro y fuera del

globo, o un pequeño cambio de presión, hace que la trayectoria del globo sea impredecible.

La física del caos es la de la diversidad. Es la que hace que haya variación biológica y la que garantiza que seamos únicos, capaces de crear ideas que a nadie se le han ocurrido antes. Las leyes que controlan las fluctuaciones del vacío son aleatorias.

El surgimiento de otros universos se conoce como los universos paralelos (chicos, grandes, jóvenes, viejos, etcétera). Al conjunto de universos se le llama multiverso.

Una de las maneras de representar al universo observable es mediante una gráfica. Si colocamos en el eje horizontal el tiempo y en el vertical la temperatura, la gráfica representará los sucesos que aparecieron a lo largo de la historia del universo. El primero fue transformar energía en materia; mucho después la aparición de grumos, regiones de densidad más alta; más tarde la combinación de los átomos de estado ionizado a neutro. Finalmente, las galaxias se formaron con las primeras estrellas. Cabe notar que la integración de sistemas planetarios tuvo que esperar hasta que las estrellas crearan y expulsaran nuevos elementos químicos. El modelo estándar es de una gran elegancia, como les gusta a los científicos; se trata de una línea recta descendiente en una gráfica de temperatura contra tiempo.



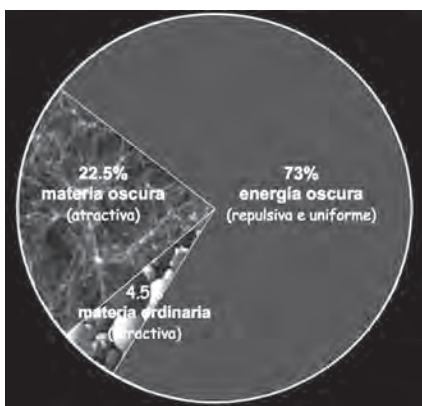
**Imagen 85.** Conforme ha evolucionado el universo su temperatura ha disminuido. Cuando tuvo menos de tres minutos de existencia se formaron el hidrógeno y el helio, mucho después se formaron nubes de gas y polvo donde nacieron las primeras estrellas. Más tarde se formaron las galaxias. El Sistema Solar se integró hace 4,500 millones de años. En la actualidad la temperatura promedio del cosmos es de  $3^{\circ}\text{K}$ , que corresponden a  $-270^{\circ}\text{C}$ . Ilustración de Alfonso Galán.

La mayor parte de la materia que se creó durante los primeros instantes después del inicio de la expansión del universo fue oscura, materia que no interactúa con la radiación, no la emite, ni la absorbe, ni la refleja; es en total cinco veces más masiva que la materia común, de la que estamos formados nosotros: protones, neutrones y electrones.

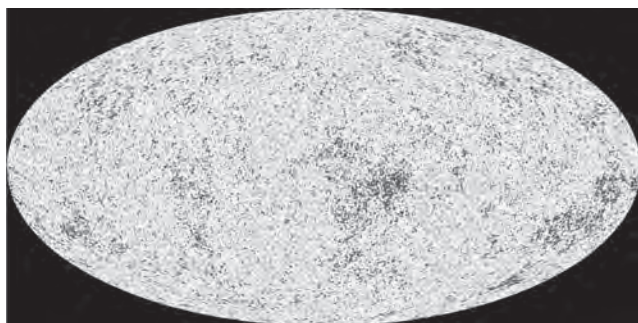
Conforme el universo se expandió se unieron núcleos de átomos de hidrógeno para formar núcleos



de helio. Continuó la expansión cósmica y cuando ésta tuvo 380 mil años los protones de los núcleos de hidrógeno y helio atraparon a sus electrones y emitieron luz. Ésta se conoce como la radiación del universo temprano y nos ayuda a comprender cómo fue el cosmos a los 380 mil años de existencia, que para nosotros es un periodo larguísimo pero para el cosmos es muy corto.

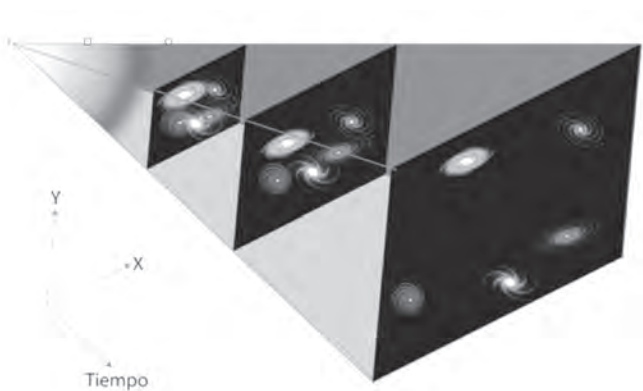


**Imagen 86.** La mayor parte de lo existente en el universo es energía oscura, responsable de la expansión cósmica. La mayor parte de la materia gravitacional que se detecta por su atracción es oscura. En [www.magnacademy.com](http://www.magnacademy.com).



**Imagen 87.** Radiación de fondo del universo. En Instituto Max Planck.

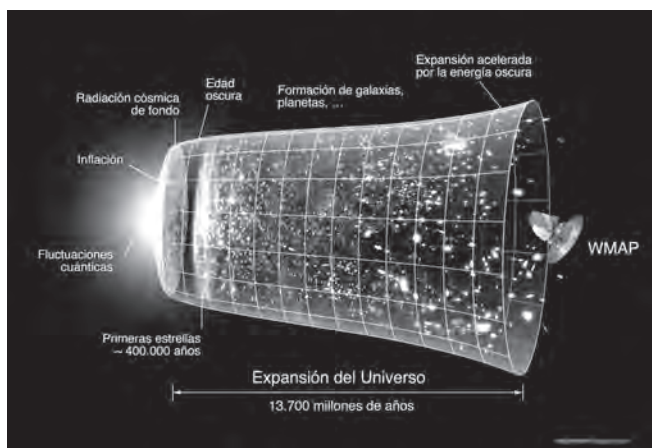
Cabe mencionar que existe un grupo de astrónomos que piensa que no es necesario convocar la materia oscura para explicar cómo se mantienen unidos gravitacionalmente conglomerados como las galaxias. Piensan que a grandes distancias la física de Newton no aplica. Parte del problema es que no se ha encontrado la materia oscura, a pesar de que gran número de laboratorios del mundo la están buscando. La ciencia siempre mantiene una mente abierta, sabe que no existe una gran verdad, sino que tenemos conocimiento parcial de la naturaleza, que nos hemos equivocado muchas veces y siempre estaremos buscando respuestas a nuestras preguntas sin alcanzar nunca la totalidad del conocimiento.



**Imagen 88.** Vivimos en un universo en expansión. Ilustración de Alfonso Galán.

Como mencionamos, se sabe que el universo donde vivimos posee una expansión acelerada y que si medimos la velocidad de expansión podemos estimar cuándo estuvo compactado el espacio y se dio el momento donde inició la expansión actual. Esto no significa que no pudo haber universos antes, otros después y otros en paralelo, es decir un multiverso compuesto de distintos universos.

La expansión del universo es necesaria para su existencia, ya que de otra manera la fuerza de gravedad dominaría en el cosmos. Todos los objetos se atraen unos a otros. Si las galaxias no se alejaran entre sí, el cosmos correría el riesgo inminente del colapso, es decir, se caería todo sobre sí mismo.



**Imagen 89.** La evolución del universo. Se señalan algunos de sus momentos claves. En WMAP.

Resumiendo:

a) El universo se expande de manera acelerada (su velocidad de expansión aumenta con el tiempo). Se requiere de energía para mantener la expansión, y esa energía es llamada energía oscura. Conforme se expande el universo, se enfría.

b) Existe la radiación de fondo que se originó cuando el universo se enfrió lo suficiente para que cada protón capturara su electrón.

c) Los elementos químicos del universo tienen ciertas proporciones: en el medio interestelar de la vecindad solar, 70% hidrógeno, 28% helio y 2% el resto de los elementos. Los elementos con mayor abundancia que el H y el He son el oxígeno, carbono y nitrógeno. El H y el He son los más abundantes pues se formaron poco después de la gran explosión. Les siguen el carbono, el nitrógeno y el oxígeno que resultan de la fusión del helio en el interior de las estrellas.

( $3 \text{ He}^4 = 1 \text{ C}^{12}$ ;  $4 \text{ He}^4 = 1 \text{ O}^{16}$ ;  $2 \text{ He}^4 + 2 \text{ He}^3 = 1 \text{ N}^{14}$  [se usó el símbolo = como equivalente del que produce]).

d) El resto de los elementos químicos más masivos que el O se formaron por la combustión de elementos dentro de las estrellas más masivas y durante las explosiones de supernovas. Son menos abundantes que los demás.



**Imagen 90.** A lo largo de la vida del universo se han ido formando los diversos elementos de la tabla periódica. Los más recientes viven fracciones de segundo, los han creado los científicos. En [www.episteme.co](http://www.episteme.co).

e) Además, existe materia oscura que se ha descubierto por la atracción gravitacional que ejerce sobre los cuerpos visibles; no está formada por los átomos constituidos por protones y neutrones.

f) El universo es altamente homogéneo e isotrópico, esto significa que no ocupamos un lugar especial en el cosmos y en cualquier dirección que observemos descubrimos el mismo tipo de objetos.

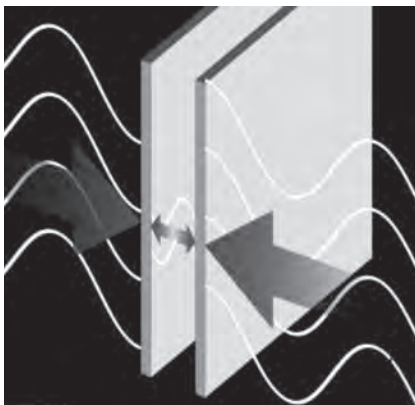


**Imagen 91.** Si existe nuestro universo no tienen por qué no existir otros, totalmente distintos al nuestro, con otras leyes de la física y constantes de la naturaleza, en un proceso inacabable de transformación. En [www.learning-mind.com](http://www.learning-mind.com).

En física la energía es la capacidad de realizar trabajo. Nosotros empleamos la energía de los alimentos para poder realizar nuestras actividades; los autobuses consumen la energía de la gasolina para transportarnos, y nuestros teléfonos celulares emplean energía eléctrica para funcionar. El universo requiere de energía para su expansión, se llama energía oscura, no sabemos qué es.

La pregunta obligada es saber de dónde salió la energía que dio origen al universo. Es necesario explicar de dónde vino la energía para convertirse en materia tanto visible como oscura, y la energía oscura que es necesaria para explicar la aceleración del universo.

Desde hace décadas se sabe que aun en un espacio vacío hay energía, se conoce como la energía del vacío. Ésta fluctúa y puede liberar energía. La descubrió Hendrik Casimir al observar cómo dos espejos paralelos colocados en el vacío se juntaban o alejaban.



**Imagen 92.** Efecto Casimir: se muestra cómo dos espejos se mueven dentro de una cámara al vacío, debido a la energía que contiene.

La existencia de la energía del vacío y de su condición caótica refuerza la idea de que no somos nada especial. Copérnico descubrió que la Tierra no está en el centro del Sistema Solar; astrónomos posteriores se dieron cuenta que el Sol es uno de cien mil millones que giran en torno al centro de nuestra galaxia. Más tarde notamos que nuestra galaxia forma parte de un grupo local, una subsección del cúmulo de Virgo. Ahora sabemos que nuestro universo no tiene por qué ser único.

Hoy podemos imaginar al universo en evolución con el poder de la mente. Sólo hasta hace unos

cuantos años hemos tenido información suficiente para estudiarlo. Antes había tan solo especulaciones. Ahora tenemos una física consolidada con base en observaciones espectaculares y precisas.

### **La noción del paso del tiempo**

Todos estamos habituados al tiempo, sabemos que lo marcan los relojes y que siempre va hacia el futuro, nuestra experiencia también nos muestra que no hay forma de regresar al pasado. Nos resulta más sencillo sentir el paso del tiempo o medirlo con un reloj, que definirlo.

El tiempo futuro no es obvio en un plano microscópico; los átomos no distinguen entre pasado y futuro. En cambio podemos distinguir sin dificultad si estamos viendo una película de principio a fin, o de fin a principio. Así, si en una escena la mancha de mole de la novia desaparece del vestido y se reintegra a la cazuela, sabríamos que la miramos al revés. En la vida cotidiana aumenta el desorden. En el universo también aumenta el desorden con el tiempo y, midiéndolo, podemos conocer la dirección del tiempo, de pasado a presente y a futuro. Nuestro cuerpo es muy ineficiente. Utiliza la energía ordenada y la convierte en desordenada. Si nos comemos una cucharadita de azúcar funcionan nuestros músculos y cerebro a costa de transformar sus granos en desechos y en energía calorífica. Incluso en la vida diaria empleamos electricidad para nuestro confort, una vez utilizada se convierte en calor, y ésta

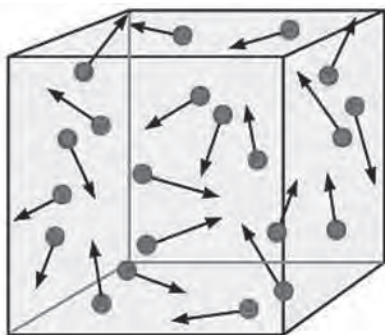


se degrada hasta tal punto que ya no nos es útil para emplearla en otros aparatos. La manera de distinguir el paso del tiempo es el aumento neto del desorden. Para que nuestro cuerpo sea un organismo ordenado desordenamos todo lo demás. Al quemar petróleo, desordenar nuestra recámara y contaminar la atmósfera desordenamos la naturaleza.



**Imagen 93.** Si notamos desorden es que antes hubo orden, estamos comparando el presente con el pasado, pasó el tiempo. En [www.radiotabare.com.uy](http://www.radiotabare.com.uy).

Algo interesante es que si miramos una película de las moléculas de un gas no distinguimos entre el pasado y el futuro. Vemos moléculas interactuando unas con otras. Es decir, en el mundo microscópico no hay diferencia entre pasado y presente. Ya está todo desordenado. Tampoco distinguimos entre pasado, presente y futuro en el mundo de los átomos.



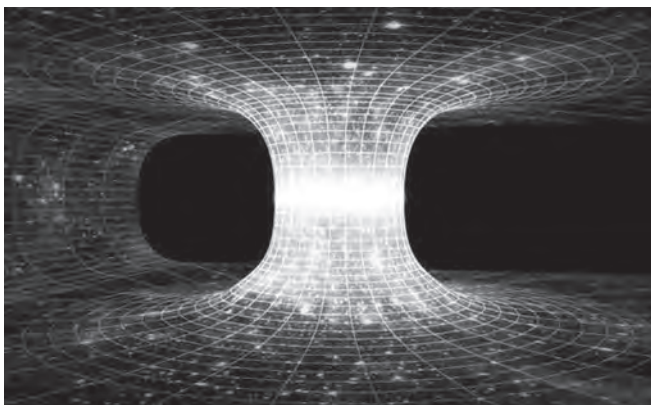
**Imagen 94.** En el nivel subatómico no se nota el cambio entre pasado y futuro; por ejemplo, en las partículas de un gas en condiciones iguales. En *Atoms in Motion*.

Los científicos se han preguntado por qué hay aumento de desorden en el universo, que ya debería estar completamente desordenado. Pues justamente la expansión cósmica permite que haya espacio para que aumente el desorden y por tanto haya pasado, presente y futuro.

Podríamos pensar que existe un aumento de orden en el universo. Las primeras nubes formaron conglomerados estelares, que se unieron para formar galaxias, posteriormente surgió la Tierra y la vida. Sin embargo, todo esto ha sucedido gracias a que hay energía disponible en el cosmos, producto de las reacciones termonucleares de las estrellas. Éstas se irán apagando, ya no habrá materia interestelar para formar nuevas estrellas. El universo a muy largo plazo estará más diluido, debido a su expansión ya no habrá estrellas y la energía estará compuesta de ondas de radio, cada una de las cuales transportará muy poca energía. Vivimos en un gran momento de la evolución cósmica.

El universo es lo suficientemente denso como para que lo observemos; están naciendo estrellas nuevas y la energía que producen nos permite estudiarlas.

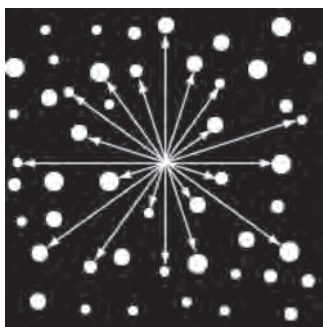
Algunas personas se preguntan si sería posible viajar al pasado; existen situaciones extremas donde esto sería posible, mediante lo que se conoce como un agujero de gusano.



**Imagen 95.** Agujero de gusano en una singularidad de espacio-tiempo, donde en teoría sería posible viajar al pasado. En Time Warp J&J.

¿Qué sucedería si viajara al pasado y aniquilara a alguno de mis ancestros? Uno pensaría que sería imposible ya que no podría yo existir. Sin embargo, podría ser que en el instante mismo de la aniquilación se creara un universo nuevo, uno donde no existo y otro distinto, desde donde estoy tecleando en la computadora.

Si viviésemos en un universo infinito con infinitas estrellas distribuidas de manera homogénea en el cielo, durante una noche despejada deberíamos ver el cielo brillante, pues en cualquier dirección de la bóveda celeste, por más pequeña que fuera, nuestra mirada se toparía con una estrella.



**Imagen 96.** En un universo infinito, con infinitas estrellas, durante la noche el cielo debería ser brillante pues nuestra mirada se toparía con la radiación de algún objeto brillante. En [hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html) (Georgia State University).

Cabe notar que la expansión del espacio-tiempo puede ser mayor a la velocidad de la luz. No es que podamos enviar señales a velocidades mayores que 300,000 km/sg, así que en el cosmos real existen señales que nunca recibiremos. La radiación fósil del universo nos llega de sitios donde la expansión es de 99.9% de la velocidad de la luz en llegar a nosotros.

La oscuridad de la noche se debe a que la luz de los astros más distantes no ha tenido tiempo de llegar a la Tierra y por eso no los vemos, no es que no existan.

Necesariamente, observar a los astros como fueron en el pasado tiene varias consecuencias. La primera

es que podemos constatar la evolución. Podemos comparar una galaxia cercana con otras a distancias cada vez mayores y notaremos que no son iguales. Esto se debe a que las galaxias se originaron como entidades relativamente pequeñas y amorfas y se fueron agregando para constituir hermosas galaxias espirales como la nuestra.

Otra consecuencia de ver al pasado es que siempre vemos los astros como fueron, porque su luz tarda tiempo en llegar a nosotros, hay un límite más allá del cual no tenemos información acerca del cosmos. No podemos ver a los astros cuya luz tarda más de 13 mil 800 millones de años en llegar. Si observamos una galaxia, no está donde la vemos ni las estrellas que la forman son las mismas. Desde el punto de vista de la astronomía el único presente que conocemos es el cercano.



**Imagen 97.** La luz de las estrellas más distantes no ha tenido tiempo de llegar, por eso no las vemos. Ilustración de Alfonso Galán.

Si el universo no se estuviese expandiendo, la luz que emiten todos los astros que estuviesen a menos de 13 mil 800 años luz de distancia nos llegaría. Sin embargo, como se expande, la luz de los más distantes no nos alcanza. Lo mismo le sucede a la radiación de la galaxia, incluida la del Sol: nunca llegará a los objetos más distantes.



**Imagen 98.** Junto con el espacio, la radiación que emiten los astros se expande. Observamos la luz visible de los astros más distantes como ondas de radio. Ilustración de Alfonso Galán.

El universo es uniformemente brillante en microondas. En la época temprana del universo, cuando los núcleos de hidrógeno y helio capturaron a sus electrones, emitieron radiación. En su momento esta radiación era luz visible, similar a las que emiten las estrellas rojas. Sin embargo, la radiación también está sujeta a expansión y pasó de ser visible a microondas.

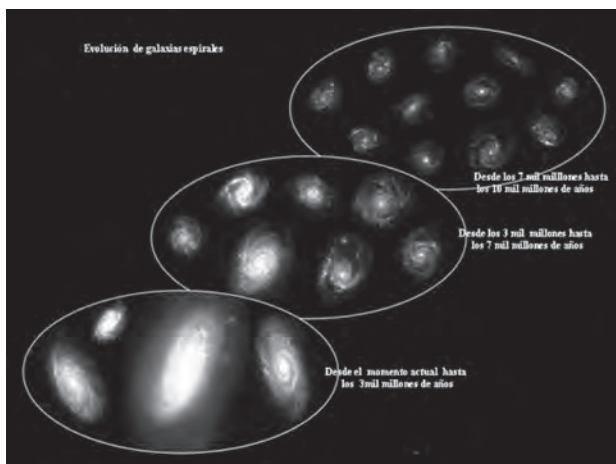
Dado que el universo se expande de manera acelerada, llegará un momento en que los cúmulos de galaxias alcanzarán una velocidad mayor a la de la luz, así que nunca las veremos. Por eso nuestro conocimiento del cosmos nunca será completo. Cabe destacar que la velocidad de la luz, gracias a la cual

recibimos información, es el límite superior para la comunicación. En realidad físicamente las galaxias no se mueven, lo que sucede es que el espacio entre ellas se dilata.

Como en cualquier ciencia, la astronomía comprobaba, día con día, que entre más conocemos, tomamos conciencia de que nuestra ignorancia era mucho mayor de la que creíamos.

Un espacio es el que puede existir, y otro es el que observamos. Existen cuerpos tan distantes que su luz no ha tenido tiempo de llegar hasta nosotros, por eso no los podemos ver. No es que no estén allí, simplemente nacieron después de que la radiación de esa región del cielo tuvo tiempo de llegar a nuestro telescopio.

La velocidad finita de la luz tiene dos consecuencias para la astronomía. Por un lado, siempre vemos a los objetos como fueron, entre más distantes estén observamos un pasado más remoto. Así, analizando objetos similares a diferentes distancias, es el equivalente a ver un mismo astro en tiempos diferentes a lo largo de su evolución. Así, vemos una galaxia cercana que está bien estructurada; en cambio las galaxias distantes son amorfas y pequeñas, no tuvieron tiempo de formar brazos espirales.



**Imagen 99.** Evolución de unas galaxias espirales. Las galaxias del pasado fueron distintas a las actuales. Las pequeñas se fusionaron para crear las actuales. En [www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl).

Por otro lado, no podemos ver la orilla del universo porque su luz no ha tenido tiempo de llegar hasta nosotros. Si nuestro universo fuera infinito sólo veríamos una sección minúscula de 13 mil 800 millones de años luz de radio, es decir, el tiempo que ha tenido la luz de viajar desde la gran explosión hacia los distintos sitios. Una fuente de luz emite radiación en todas direcciones, así que desde diversos lugares del cosmos, a distintas distancias de la fuente de luz, la observarían como fue en épocas diferentes.

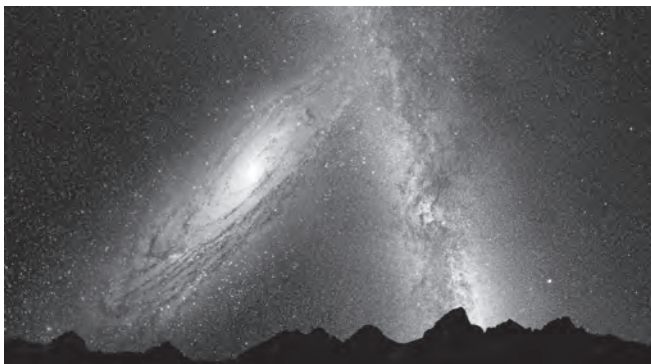


## El futuro del cosmos

Nos gusta tener certidumbres, predecir el futuro. En astronomía esto es en parte posible porque, como toda ciencia, está formada por un conjunto amplio de conocimientos que permiten predecir el futuro, bajo ciertas hipótesis cuya validez siempre estará a prueba.

¿Cuál será el futuro de nuestra galaxia y del universo?

Se ha calculado que dentro de cuatro mil millones de años la galaxia de Andrómeda se unirá con la nuestra para convertirse en una gigantesca galaxia elíptica.

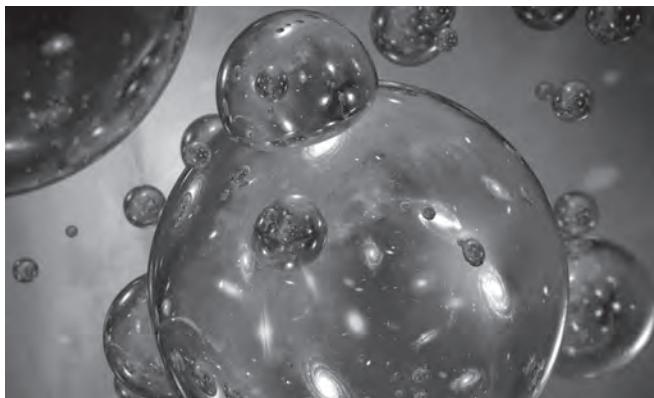


**Imagen 100.** Dentro de cuatro mil millones de años la galaxia de Andrómeda se fusionará con la nuestra. En National Geographic.

Cuando el universo tenga una edad mil veces mayor a la que tiene ahora, cesará la formación estelar pues ya no habrá gas disponible en las galaxias para crearlas. Las galaxias emitirán cada vez menos radiación visible y se irán apagando.

Dado que vivimos en un universo en expansión acelerada, llegará un momento en que no veremos más que el contenido de nuestra galaxia, el resto se habrá alejado tanto que la luz de los objetos no podrá surcar las inmensas distancias intergalácticas. Hay quienes argumentan que mucho después de que se hayan apagado todas las estrellas los protones no vivirán por siempre y se desintegrarán. Conforme se sucedan los trillones de años, los hoyos negros se evaporarán. Nuestro universo será cada vez más frío, poblado de ondas de radio de baja energía.

Podrían existir otros universos paralelos a los que no tenemos acceso, algunos tal vez oscilarían y formarían estrellas, incluso albergarían alguna otra forma de existencia. Éstos podrían generarse en tiempos y espacios distintos a los del universo observable.



**Imagen 101.** El multiverso podría tener un número infinito de universos paralelos. En [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com).

## **Dónde comprar un telescopio**

Muchas personas compran telescopios porque se imaginan que son sencillos de usar y que con sólo apuntar al cielo observarán imágenes espectaculares, como las que aparecen en la red. Creen que con un telescopio pequeño verán algo similar.

No es el caso, las imágenes más extraordinarias de los astros están tomadas desde grandes telescopios espaciales o terrestres y están procesadas electrónicamente. Con un telescopio pequeño nunca observaremos el anillo de Júpiter, el nacimiento de una estrella o la fusión de dos galaxias.

Mi recomendación es que antes de comprarte un telescopio pruebes mirar el cielo a simple vista por la noche, tal vez puedas conocer algunas constelaciones. Existen Apps y mapas para cada época del año en internet. Personalmente, he colocado un camastro en la azotea del edificio de cinco pisos donde vivo en la CDMX y me he maravillado de ver tantas estrellas durante las noches despejadas sin luna. Los astros que se observan a simple vista en las ciudades son escasos comparados con los que se ven en un planetario o en un mapa celeste.

Si descubres que disfrutas mirar el cielo podrías unirte a una sociedad astronómica cercana a tu hogar. Varias instituciones de la UNAM cuentan con ellas. La ventaja es que irías de excursión organizada por la sociedad, con personas que saben usar telescopios y

descubrir si esta actividad te agrada. Los astrónomos aficionados viajan en grupo a sitios seguros. Y además pueden enseñar a los usuarios novatos a emplear sus instrumentos.

Algunos grupos de astrónomos aficionados tienen talleres de construcción de telescopios, así que si descubres que te gusta esa actividad te puedes asociar a alguno y fabricarte un buen telescopio con un costo modesto.



**Imagen 102.** Se sugiere comprar el telescopio en una tienda especializada, porque allí te ayudarán a elegir el instrumento más adecuado. Por ejemplo, que tenga un tripié firme y que sea adecuado al propósito del usuario. Lo que observarás con enorme placer con un telescopio modesto serán los cráteres de la Luna (se ven increíbles), las lunas de Júpiter, los cúmulos de estrellas y sobre todo, lo más extraordinario, los anillos de Saturno y mucho más.



**Imagen 103.** Imagen de la nebulosa de Orión tomada con un gran telescopio y procesada electrónicamente para resaltar los colores. En [www.space.com](http://www.space.com).



**Imagen 104.** Con un telescopio pequeño la nebulosa de Orión se ve más o menos así. En Gunnisson Valley.

Los astrónomos aficionados terminan siendo grupos de amigos que organizan eventos como fiestas de estrellas por el puro gusto de compartir su pasión.

### **Quiero ser astrónomo**

Para ser astrónomo profesional se puede estudiar la carrera de física y después cursar un posgrado en astrofísica. La física que se aprende en la licenciatura

es interesante, apasionante; lo que no siempre sucede en la educación básica, pues en ocasiones parece ser más bien algo que se aprende de memoria que algo que se entiende por su elegancia y aplicaciones extraordinarias. Es necesario estudiar física antes que astronomía, porque ésta analiza cómo funciona la naturaleza, y los astros y el universo mismo son parte de la naturaleza.

Durante la carrera de física también aprenderás matemáticas. Notarás que serán mucho más extraordinarias, seguramente muy distintas a las que aprendiste antes; pues serán las que les gustan a los matemáticos y empleamos los científicos. Si ya te gustan navegarás por ellas con placer. Si no es el caso, aprenderás cómo llenar las lagunas que llevas arrastrando durante años y, una vez superadas tus dudas, comprenderás y podrás manejarlas para resolver problemas complejos como nunca imaginaste.

Además, aprenderás cómputo, mucho más allá de saber emplear la utilería. Diseñarás tus propios programas y lograrás que sean más eficientes empleando inteligencia artificial. Saber emplear las herramientas modernas te dará múltiples opciones profesionales.

Las personas que estudian ciencia lo suelen hacer por pasión. Así que el ambiente estudiantil es de camaradería y un lugar donde se discuten problemas de interés. Es decir, las clases suelen ser interesantes y uno estudia por curiosidad y placer, no por obligación.

En las grandes universidades los profesores hacen investigación, así que de manera implícita enseñan a pensar, a crear y a encontrar la manera como se resuelven los problemas de vanguardia.

En mi opinión, para estudiar física se debe elegir la mejor institución posible, que esté lo más cercana posible al sitio donde uno vive. En internet es sencillo encontrar cuáles son esas instituciones. En México existen universidades públicas que son casi gratuitas y en algunas hay becas alimenticias.

Dependiendo de la universidad uno puede tomar cursos optativos de astronomía y hacer tesis en los planteles donde esto sea un requisito en dicho tema. Esto es importante pues así entra uno en contacto con docentes que más tarde escribirán cartas de recomendación para que uno estudie el posgrado.

Para ser astrónomo profesional se requiere de un doctorado, y si se quiere trabajar en una institución mexicana es también importante cursar una estancia posdoctoral fuera del país. La razón por la cual se requiere del doctorado es conocer los fundamentos de la astrofísica y además aprender a resolver algún problema de manera novedosa, es decir, avanzar el conocimiento.

Existen centros de investigación en muchas naciones con amplios programas de becas. Dedicarse a la ciencia suele traer grandes satisfacciones.

## **Conclusión**

No sólo el universo está en evolución continua, también nuestras ideas. Así que es posible que parte de lo que has leído hasta aquí haya cambiado o se modifique durante los próximos años; así es la ciencia, se reinventa. Lo que se ha presentado en estas páginas es sólo un fragmento minúsculo de lo que se conoce de nuestro universo. Espero que te haya picado la curiosidad y que a futuro sigas leyendo sobre astronomía y otras ciencias.

Si te interesa saber más puedes buscar en la red: Astronomía, Julieta Fierro, y podrás aprender más a través de cápsulas de ciencia y clases formales. Además, en mi página: [www.astroscu.unam.mx/~julieta/](http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/) puedes encontrar textos más extensos sobre una mayor diversidad de temas astronómicos.







**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
Dr. Enrique Luis Graue Wiechers  
**Rector**

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
**Secretario General**

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
**Secretario Administrativo**

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa  
**Secretario de Desarrollo Institucional**

Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo  
**Secretario de Prevención,  
Atención y Seguridad Universitaria**

Dra. Mónica González Contró  
**Abogada General**

Mtro. Néstor Martínez Cristo  
**Director General de Comunicación Social**



**ACADEMIA MEXICANA DE LA LENGUA**  
Gonzalo Celorio  
**Director**

Alejandro Higashi  
**Representante Académico**  
**del Gabinete Editorial**



**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

Dr. Benjamín Barajas Sánchez

**Director General**



**PLANTEL NAUCALPAN**

Mtro. Keshava Quintanar Cano

**Director**

Mtro. Ciro Plata Monroy

**Secretario General**

Lic. Joaquín Trenado Vera

**Secretario Administrativo**

Ing. Reyes Hugo Torres Merino

**Secretario Académico**

Mtra. Angélica Garcilazo Galnares

**Secretaria Docente**

Mtra. Rebeca Rosado Rostro

**Secretaria de Servicios Estudiantiles**

C. Damián Feltrín Rodríguez

**Secretario de Atención a la Comunidad**

Ing. Verónica Berenice Ruiz Melgarejo

**Secretaria de Cómputo y Apoyo al Aprendizaje**

C.P. Ma. Guadalupe Sánchez Chávez

**Secretaria de Administración Escolar**

Ing. Carmen Tenorio Chávez

**Secretaria Técnica del Siladin**

Lic. Reyna I. Valencia López

**Coord. de Seguimiento y Planeación**

Dra. Susana Rodríguez Aguilar

**Jefa del Depto. de Comunicación**

Mtro. Édgar Mena López

**Jefe del Depto. de Impresiones**

Los  
retos de la astronomía  
de Julieta Fierro, un título  
de la colección **La Academia para  
Jóvenes**, del Colegio de Ciencias y  
Humanidades Plantel Naucalpan de la UNAM, se  
terminó de imprimir el 15 de noviembre de 2019  
en los talleres de la Imprenta del Colegio de Ciencias  
y Humanidades, Monrovia núm. 1,002, colonia  
Portales Sur, CP 03300, Alcaldía Benito Juárez, CDMX.  
La edición consta de 500 ejemplares con impresión  
offset sobre papel bond ahuesado de 90 grs. para los  
interiores y cartulina sulfatada de 12 pts. para los forros.  
En su composición se utilizó la familia Joanna MT STD.  
La formación estuvo a cargo de Julia Michel Ollin Xanat  
Morales.  
El cuidado de la edición estuvo a cargo de Keshava  
R. Quintanar Cano y la autora.

La **Academia para Jóvenes** es una colección de libros de divulgación dirigida a los estudiantes del bachillerato, interesados en reforzar su formación en los campos de las ciencias experimentales y sociales, así como en las humanidades. La Academia Mexicana de la Lengua se siente profundamente orgullosa de participar en ella junto con la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Secretaría General de la UNAM y del Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Naucalpan.

Los títulos que la integran han sido preparados por miembros de la Academia Mexicana de la Lengua, que de esta manera quieren contribuir a que los estudiantes puedan asomarse a la amplia diversidad de sus intereses juveniles.

Las obras publicadas buscan fomentar el placer de la lectura, contribuir a la formación integral de nuestros jóvenes, despertar en ellos algunas vocaciones y vincularlos con los proyectos de investigación de connotados especialistas.

Felipe Garrido  
*Academia Mexicana de la Lengua*

## La Academia para Jóvenes

