

ASTRONOMÍA

176

Fronteras del universo

MANUEL PEIMBERT
JULIETA FIERRO
(coordinadores)

Nueva edición



LA CIENCIA PARA TODOS

FRONTERAS DEL UNIVERSO

En 1984 el Fondo de Cultura Económica concibió el proyecto editorial La Ciencia desde México con el propósito de divulgar el conocimiento científico en español a través de libros breves, con carácter introductorio y un lenguaje claro, accesible y ameno; el objetivo era despertar el interés en la ciencia en un público amplio y, en especial, entre los jóvenes.

Los primeros títulos aparecieron en 1986, y si en un principio la colección se conformó por obras que daban a conocer los trabajos de investigación de científicos radicados en México, diez años más tarde la convocatoria se amplió a todos los países hispanoamericanos y cambió su nombre por el de La Ciencia para Todos.

Con el desarrollo de la colección, el Fondo de Cultura Económica estableció dos certámenes: el concurso de lectoescritura “Leamos La Ciencia para Todos”, que busca promover la lectura de la colección y el surgimiento de vocaciones entre los estudiantes de educación media, y el Premio Internacional de Divulgación de la Ciencia Ruy Pérez Tamayo, cuyo propósito es incentivar la producción de textos de científicos, periodistas, divulgadores y escritores en general cuyos títulos puedan incorporarse al catálogo de la colección.

Hoy, La Ciencia para Todos y los dos concursos bienales se mantienen y aun buscan crecer, renovarse y actualizarse, con un objetivo aún más ambicioso: hacer de la ciencia parte fundamental de la cultura general de los pueblos hispanoamericanos.

Comité de selección de obras

Dr. Antonio Alonso
Dr. Francisco Bolívar Zapata
Dr. Javier Bracho
Dr. Juan Luis Cifuentes
Dra. Rosalinda Contreras
Dra. Julieta Fierro
Dr. Jorge Flores Valdés
Dr. Juan Ramón de la Fuente
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer †
Dr. Adolfo Guzmán Arenas
Dr. Gonzalo Halffter
Dr. Jaime Martuscelli
Dra. Isaura Meza
Dr. José Luis Morán López
Dr. Héctor Nava Jaimes
Dr. Manuel Peimbert
Dr. José Antonio de la Peña
Dr. Ruy Pérez Tamayo
Dr. Julio Rubio Oca
Dr. José Sarukhán
Dr. Guillermo Soberón
Dr. Elías Trabulse

Manuel Peimbert • Julieta Fierro
(coordinadores)

FRONTERAS DEL UNIVERSO

Deborah Dultzin • J. Jesús González G. • Miguel Ángel Herrera •
Dany Page • Miriam Peña • Luis Felipe Rodríguez • Silvia Torres



la
ciencia/176
para todos

Primera edición, 2000
Segunda edición, 2017
Primera edición electrónica (PDF), 2018

Peimbert, Manuel, y Julieta Fierro (coords.)

Fronteras del universo / coord. de Manuel Peimbert, Julieta Fierro — 2ª ed. — México : FCE, SEP, Conacyt, 2017

179 p. : ilus. ; 21 × 14 cm — (Colec. La Ciencia para Todos ; 176)

Texto para nivel medio y medio superior

ISBN 978-607-16-5483-0

1. Cosmogonía 2. Astronomía 3. Divulgación científica I. Fierro, Julieta, coord. II. Ser. III. t.

LC QB982

Dewey508.2 C569 v.176

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Diseño de portada: Laura Esponda Aguilar

D. R. © 2000, Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 Ciudad de México
Comentarios: editorial@fondodeculturaeconomica.com
www.fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55) 5227-4672

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-16-5483-0 (impresa)

ISBN 978-607-16-5714-5 (PDF)

Hecho en México - *Made in Mexico*

<i>Prólogo</i>	13
I. <i>Sistemas planetarios</i> , JULIETA FIERRO	15
Introducción	15
Sistemas planetarios	18
Exploración de mundos en el Sistema Solar	30
Los meteoritos	38
Conclusión	42
II. <i>Impactos extraterrestres y extinciones</i> , MIGUEL ÁNGEL HERRERA	45
Impactos y extinciones	45
Las piedras del cielo	52
Meteoritos	58
El cráter de Arizona	59
Chicxulub	60
¿Impacto solitario?	65
¿Qué tan probable es una colisión?	67
Conclusiones	70
III. <i>Nubes de formación estelar, o regiones H II</i> , SILVIA TORRES	72
El medio interestelar	73

Regiones ionizadas por estrellas jóvenes	75
La nebulosa de Orión	79
Regiones H II compactas	81
Regiones H II en otras galaxias	82
Conclusiones	83
IV. <i>Nebulosas planetarias</i> , MIRIAM PEÑA	100
Introducción	100
La caliente y diminuta estrella central	102
Morfología de las nebulosas	106
Radiación del gas nebuloso	107
La composición química de las nebulosas y el aporte de elementos pesados de las estrellas de baja masa	111
Las nebulosas planetarias en otras galaxias	112
Una breve nota personal	114
Fotografías de nebulosas planetarias	114
V. <i>Astrofísica de altas energías</i> ,	
LUIS FELIPE RODRÍGUEZ	119
El infinito espectro electromagnético	119
La astronomía descubre el espectro electromagnético	122
Los inicios de la astronomía de rayos X	123
Las estrellas binarias emisoras de rayos X	126
Otras fuentes cósmicas emisoras de rayos X	130
La astronomía de rayos gamma	134
Conclusiones	144
VI. <i>Estrellas de neutrones y pulsares</i> , DANY PAGE	145
Introducción	145
Pulsares	146
Las estrellas de neutrones	158
Binarias de rayos X y pulsares reciclados	165
Magnetares	173
Conclusión	178

VII. <i>Galaxias</i> , J. JESÚS GONZÁLEZ G.	179
Introducción	179
Nuestra galaxia	180
Las galaxias	186
Las galaxias y el universo	192
El origen de las galaxias	196
La formación de las galaxias	198
Evolución de las galaxias	199
Evolución química	204
Notas finales	204
VIII. <i>Cuasares</i> , DEBORAH DULTZIN	206
Introducción	206
Núcleos activos de galaxias (o sus primos, los “lagartos”, y otros bichos)	211
Agujeros negros supermasivos	214
Interacciones y colisiones entre galaxias	216
La Vía Láctea	220
Faros que alumbran el pasado	222
IX. <i>El origen de los elementos y la evolución del universo</i> , MANUEL PEIMBERT	227
La teoría de la Gran Explosión	227
Determinación de la composición química de las nebulosas gaseosas	231
La evolución estelar y las nebulosas gaseosas	233
La evolución química de las galaxias	237
Cosmología	242
Conclusiones	245
<i>Glosario</i>	251
<i>Acerca de los autores</i>	275

Esta nueva edición de *Fronteras del universo* se debe a la amplia aceptación que tuvo el volumen anterior y a que el conocimiento astronómico ha avanzado espectacularmente durante los últimos 17 años.

Seguramente el lector se preguntará por qué el libro se llama *Fronteras del universo*. Se debe a que la investigación en varias áreas de la astrofísica avanza continuamente hacia lo desconocido. El libro está dedicado a los últimos descubrimientos astronómicos, sin dejar a un lado algunos aspectos básicos, los cuales delimitan y establecen las fronteras de nuestro conocimiento sobre el universo.

Fronteras del universo está dirigido a todos aquellos que desean tener una visión del cosmos basada en algunos logros más recientes de la astronomía.

Los astrónomos queremos saber cuál fue el pasado, cuál es el presente y cuál será el futuro del universo y de todos los objetos que lo conforman; también queremos saber si nuestro universo es único o si forma parte de un conjunto infinito de universos. Algunos problemas típicos que se plantean los astrónomos son: ¿cómo se forman y evolucionan los sistemas planetarios?, ¿cómo nacen, se desarrollan y mueren las estrellas?, ¿cómo evolucionan las galaxias?, ¿cuáles son las propiedades principales del universo?, ¿qué son la energía y la materia oscuras?

Nuestra concepción del cosmos, formada por las observaciones y el conjunto de modelos y teorías que tenemos para explicarlos, se modifica constantemente debido a la avalancha de datos que obtenemos por medio de nuevos telescopios instalados en la superficie de la Tierra y en satélites artificiales. Estos telescopios observan el universo en todas las regiones del espectro electromagnético: gamma, X, ultravioleta, visible, infrarrojo, milimétrica y de radio. El avance de la astrofísica va de la mano con el nuevo conocimiento. Los nuevos telescopios cuentan con tecnología muy avanzada que incluye detectores optoelectrónicos, detectores de microondas, mecánica de precisión, óptica adaptativa, computadoras de control y sistemas de comunicaciones. También el análisis de los datos se hace por medio de los últimos adelantos en astrofísica y ramas cercanas a ella como las matemáticas, la física, la química y la biología.

Fronteras del universo consta de nueve ensayos de divulgación que llevan al lector desde el estudio de regiones muy cercanas hasta el de las más remotas del universo observable. Se presentan temas básicos de la astronomía moderna como: nuestro sistema planetario, planetas formados fuera del Sistema Solar, impactos de cometas y asteroides con la Tierra y sus efectos en la evolución de las especies, regiones de formación estelar, nebulosas planetarias, supernovas y sus remanentes, agujeros negros, galaxias, cuasares, astrofísica de altas energías, y la evolución química del universo. Los temas se seleccionaron tratando de cubrir de manera coherente un conjunto de áreas de la astrofísica moderna, sin embargo, cada capítulo se puede leer de manera independiente de los demás. El libro incluye también recuadros que explican temas complementarios a los tratados en los ensayos, los cuales a su vez están profusamente ilustrados con imágenes del universo obtenidas con algunos de los telescopios más modernos del planeta.

Los autores son investigadores de astronomía que laboran en la Universidad Nacional Autónoma de México, de reconocido prestigio en los ámbitos nacional e internacional.

Queremos agradecer a Heriberto Sánchez y al personal del Fondo de Cultura Económica por la edición de este libro.

I. Sistemas planetarios

JULIETA FIERRO

Hace un siglo sólo se conocía nuestro Sistema Solar, ahora se piensa que existen miles de billones de exoplanetas.

INTRODUCCIÓN

A pesar de los millones de astros catalogados durante el siglo pasado se ponía en duda que hubiera una cantidad importante de planetas fuera del Sistema Solar y por consiguiente la posibilidad de más vida tan estructurada como la nuestra en algún otro sitio del cosmos. No se había descubierto ninguno. La ciencia se basa en ideas y observaciones; aunque las especulaciones pueden conducir a resultados científicos una vez que se comprueban. Se buscan las maneras de corroborar de distintas formas los descubrimientos, los resultados; las investigaciones se mandan arbitrar y están a disposición de todos, es decir, la ciencia se construye de manera sólida con base en comprobaciones y de aportes del pensamiento de varios investigadores.

La posibilidad de la existencia de exoplanetas comenzó a cambiar cuando se descubrió que Júpiter y Saturno poseen más de 60 satélites cada uno. Además, se encontró que la cantidad de estrellas pequeñas es millones de veces superior a la de las gigantes; en la naturaleza, los objetos pequeños son mucho más abundantes que los de grandes dimensiones. No se ha establecido una frontera bien definida entre las estrellas más pequeñas y los planetas más grandes, se asemejan mucho, son mundos de gas, los que poseen 100 veces más materia que Júpiter generan reacciones termonucleares en el núcleo. Si los planetas más grandes tienen multitud de satélites, las estrellas más pequeñas

podrían tener una cantidad considerable de mundos. Lo complejo es encontrar estas estrellas y aún más difícil es observar planetas que brillan sólo porque reflejan la luz de sus soles. Se requieren telescopios poderosos para descubrirlos. De hecho la astronomía ha favorecido el estudio de los objetos más brillantes, porque son más sencillos de observar. En general la radiación que nos llega de los mundos del Sistema Solar es miles de millones de veces más tenue que la que emite el Sol. Un telescopio equivale a tener una pupila ampliada —como si la nuestra midiera varios metros— la cual podría interceptar una cantidad mucho mayor de luz y por lo tanto ver los objetos de baja luminosidad.

En general, la astrofísica se hace a distancia, por medio del análisis de la radiación electromagnética que nos llega de los distintos astros. Los cuerpos del Sistema Solar están tan cerca de la Tierra que se han podido obtener muestras directas de varios de ellos; por consiguiente su estudio corresponde tanto a la astrofísica como a la geofísica e incluso a la biología, por el interés en la búsqueda de vida extraterrestre.

El análisis de los sistemas planetarios ha tenido un gran avance desde que existe la exploración espacial, tanto en forma de sondas como telescopios puestos en órbita, así como por el desarrollo de nuevos telescopios de mayor diámetro equipados con detectores más sensibles en luz visible y en otras frecuencias, en particular la radiación infrarroja.

A lo largo de este capítulo describiremos varios de los últimos descubrimientos de nuevos sistemas planetarios, haciendo énfasis en la diversidad de problemas que falta resolver, en particular la búsqueda de vida extraterrestre. Este texto no ofrece un panorama global del Sistema Solar, sino solamente algunos detalles que mostrarán el tipo de situaciones a los que se enfrentan quienes lo estudian.

Existen varios libros de la colección La Ciencia desde México/La Ciencia para Todos dedicados a la astronomía, todos tienen portadas gris oscuro para ayudar a ubicarlos.

Recuadro I.1. Planetas enanos

Algunas personas se preguntarán el motivo por el cual Plutón ahora se clasifica como planeta enano. Hace medio siglo se pensaba que el Sistema Solar tenía nueve planetas y un cinturón de asteroides. Los planetas eran los cuerpos esféricos que se trasladan en torno al Sol. Plutón tiene una órbita alargada si se compara con la de los otros mundos, que es más bien circular; durante su máximo acercamiento al Sol los hielos de la superficie se evaporaron y le salió una especie de cola, es decir tuvo apariencia de cometa. Cuando se descubrió su satélite Caronte, la comunidad respiró tranquila; sin embargo, poco después varias observaciones mostraron que algunos asteroides son casi esféricos ¡y tienen satélites! Para colmo Plutón forma parte de otro cinturón de cientos de miles de objetos congelados, algunos de mayor tamaño que ese mundo.

¡Incluso se han descubierto planetas que no tienen estrella, mundos similares a Júpiter cuyos movimientos son similares a los de sus estrellas vecinas!

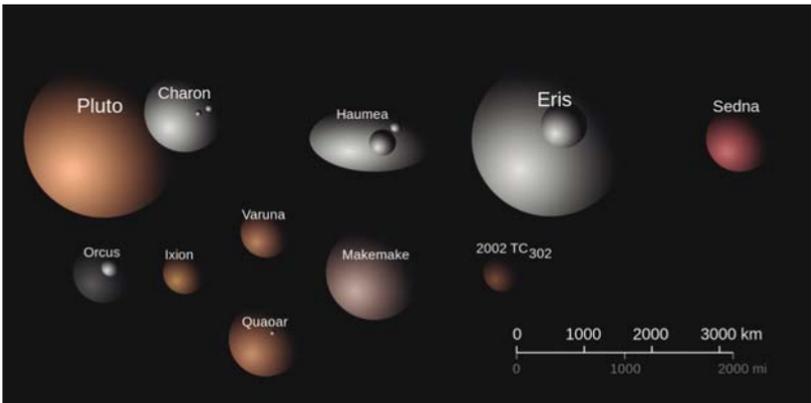


FIGURA I.1. Algunos de los planetas enanos que están más allá de Neptuno. Imagen: NASA.

A partir de algunas decenas de millones de años del inicio de la expansión del universo las estrellas crearon suficientes elementos químicos pesados para formar planetas rocosos, como la Tierra y muchos más.

Uno de los grupos de astros más estudiados es el Sistema Solar; debido a su cercanía, no sólo es más sencillo de fotografiar, sino que se han hecho viajes a distintos planetas y a sus satélites. El Sol produce la luz que brinda energía a la Tierra donde se ha desarrollado la vida. Los otros componentes son objetos opacos que descubrimos porque reflejan la luz solar, son planetas como Mercurio o Neptuno. Otro grupo es el de los planetas enanos, ejemplos son Ceres, el mayor de los asteroides y Plutón, ambos tienen satélites. Además existen cientos de satélites y miles de cuerpos menores que forman anillos de asteroides, uno entre Marte y Júpiter, y otro a la distancia de Plutón. Y, finalmente, existen millones de cometas, la mayoría de los cuales tienen órbitas mayores que las de Neptuno y llegan a los confines del Sistema Solar.



FIGURA I.2. Algunos de los posibles exoplanetas habitables. Imagen de PHL @ UPR Arecibo, ESA/Hubble, NASA.

En tiempos recientes se ha descubierto multitud de sistemas planetarios que giran en torno a otras estrellas, o sea, exoplanetas. Su importancia no sólo radica en poder comparar nuestro sistema con otros, sino en 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. Es decir, entender cómo ocurren fenómenos como el calentamiento global si se lleva al extremo de desertificar un planeta completo. Otro ejemplo sería la manera en que se forman los satélites. Y si encontramos vida fuera de la Tierra daríamos un paso gigantesco comparando nuestros miles de millones de especies con las de otros sitios. Si observamos una cantidad considerable de sistemas solares podemos comprender cómo se forman, evolucionan y desaparecen.

Puesto que los sistemas planetarios se forman en torno a las estrellas, que son los objetos visibles más cercanos y estudiados, explicaremos de manera muy simplificada su evolución. Todas las estrellas nacen dentro de nubes de gas y polvo del medio interestelar. Las nubes se contraen y en su interior se forman las estrellas. Cuando éstas están recién nacidas iluminan el gas circundante y lo hacen brillar. En el área central de la nube en contracción nace una estrella o varias. Cada estrella se rodea de un disco, a partir del cual se formarán los planetas, satélites, anillos, asteroides y cometas. Cabe señalar que no se ha descubierto ningún elemento químico distinto de los que existen en la Tierra en el resto del universo, es decir todos los astros están hechos del mismo tipo de átomos.

Para comprender el proceso imaginemos una nube esférica. Si estuviera aislada, sin ninguna perturbación externa, mantendría el mismo diámetro. Por un lado, la fuerza de gravedad atrae todo el gas hacia el centro —por eso es una esfera— y, por otro, la presión interna la mantiene inflada.

Ahora supongamos que la nube está sujeta a una presión externa adicional. Por ejemplo, si otra nube choca contra ella o

si una supernova explota en su vecindad; esto hará que la nube se contraiga. Una vez comenzada la contracción de la estrella, sufre un colapso gravitacional, porque entre más chica es la estrella la fuerza gravitacional se vuelve mayor en su superficie; ya que su presión interna no es suficiente para contrarrestar la fuerza de gravedad.

Conforme la nube protoestelar se encoje, se calienta; la razón es que la energía gravitacional se convierte en calor. La mitad del calor se va en calentar a la protoestrella y la otra mitad es radiada hacia el medio interestelar. (El motivo por el cual la nube se calienta cuando se contrae es simple. Imagine que amarra

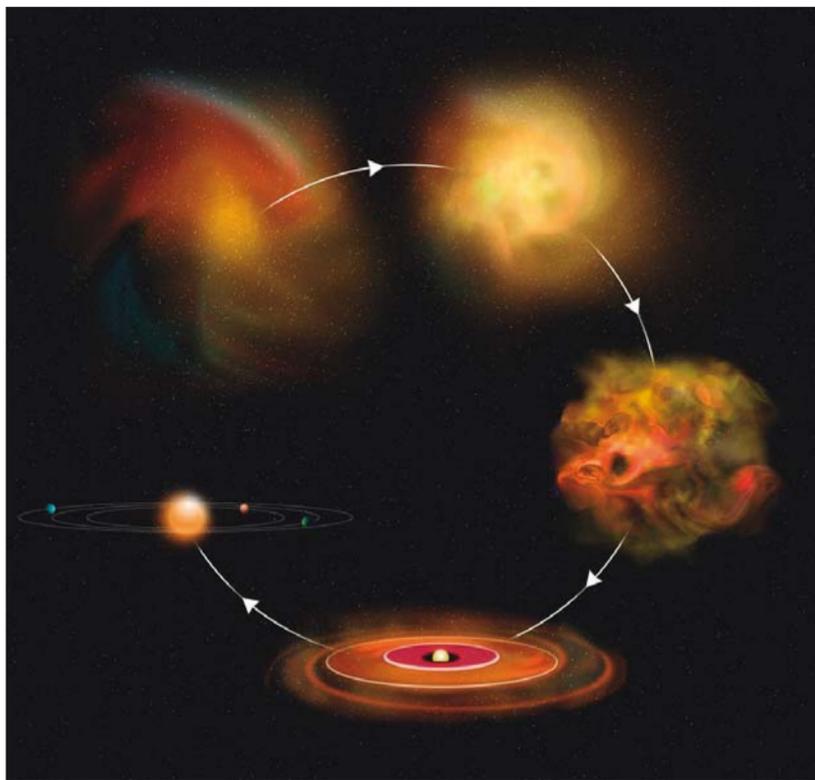


FIGURA I.3. *Proceso de formación estelar a partir de una nube de gas y de polvo. Imagen: NRAO.*

una piedra con un cordón y la suelta permitiendo que el cordón corra entre sus dedos. Notará que éstos se calientan. De manera equivalente, cuando una nube de gas y polvo se contrae, se calienta; la energía gravitacional se convierte en energía térmica.)

No podemos observar directamente el nacimiento de una estrella en luz visible, porque en las etapas iniciales de la contracción de la protoestrella su superficie todavía está muy fría. En el momento en que la estrella se enciende se halla rodeada de capas que todavía se contraen sobre el núcleo caliente. Además, la estrella bebé se encuentra sumergida en los restos de la nube que le dio origen. La energía producida en el interior de la estrella tarda miles de años en llegar a la superficie; es más, cuando logra emerger produce tanto calor que evapora el gas más cercano y lo aleja; en otras palabras, en lugar de ver la contracción de la nube observamos su expansión. Sin embargo, las etapas tempranas sí se pueden observar en radiación infrarroja, porque la nube de formación estelar se calienta al contraerse. El tiempo de contracción de una nube hasta ser una estrella que está transmutando hidrógeno en helio en el núcleo depende de la masa. Si es una estrella de una masa solar se tarda como 100 millones de años en empezar a transmutar hidrógeno en helio; en cambio, si es de unas 30 masas solares, el tiempo se reduce como a 300 000 años. La estrella de mayor masa no sólo se contrae más rápido, sino que es más luminosa.

Al Sol, de una masa solar, le tomó 100 millones de años empezar a brillar por las reacciones nucleares que producen helio; en ese periodo completó media vuelta en torno al centro de nuestra galaxia. Cabe notar que las estrellas pasan 90% de su existencia transmutando hidrógeno en helio dentro de sus núcleos. Así, el Sol le ha dado 23 vueltas al centro de la galaxia desde que existe. Las estrellas más pequeñas pueden transmutar hidrógeno en helio durante más de 50 000 millones de años, es decir, mucho más de lo que el universo tiene de vida desde que se inició su expansión, hace 13 800 millones de años. Así que cuan-

do se busca vida inteligente en el universo se descartan los posibles planetas ubicados en torno a estrellas gigantes que sólo viven unos cuantos millones de años. Allí, los planetas, aunque tuvieran todas las condiciones para formar vida, morirían engullidos por su estrella o evaporados durante su explosión, antes de que la configuración compleja de materia pudiera evolucionar hasta formar seres pensantes. Se ha calculado que hace 4 600 millones de años se formó el Sistema Solar a partir de una nube de gas y polvo interestelar. Hace 3 800 millones de años surgió la vida en los océanos someros, ya que la Tierra se había enfriado y los impactos de meteoritos aportaron el agua. Nuestra especie evolucionó apenas hace 150 000 años a partir de los primeros homínidos; sigue cambiando.

La nube que da origen a una estrella puede aplanarse por su rotación. Una de las propiedades que comparten los astros: planetas, satélites y estrellas, nubes y galaxias, es que giran. Una vez que se forma la estrella en el centro de la nube, sobra materia y está rota. Igual que la falda de una bailarina cuando da vueltas,

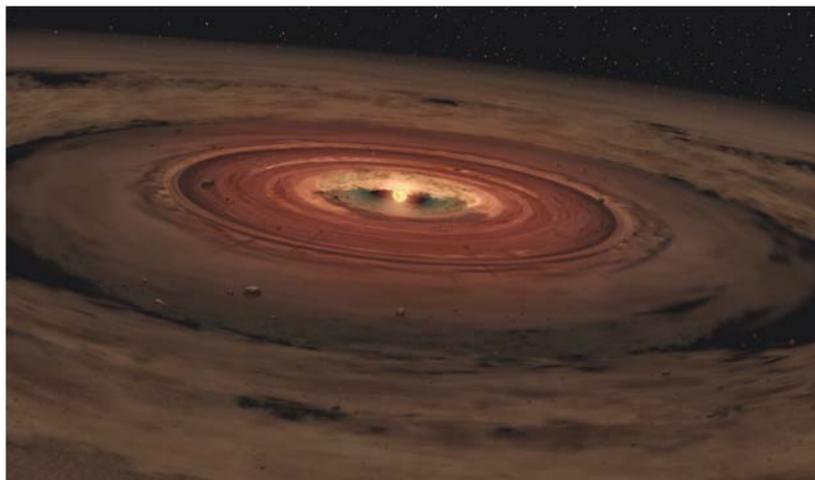


FIGURA 1.4. En la nebulosa de Orión se han descubierto decenas de discos donde se están formando nuevos planetas. Esta ilustración muestra cómo serían. Imagen: JPL-NASA.

una nube al girar se aplana. Justamente cuando nace una estrella, la materia que sobra forma un disco en torno a ella, donde más tarde nacerán los planetas nuevos.

En ocasiones las estrellas nacen en grupos; los más frecuentes son los pares de estrellas. Los pares son sumamente útiles en astronomía para calcular las masas y los diámetros de las estrellas. La manera en que giran las estrellas alrededor del centro de masa del sistema depende de la masa de cada una. Cuando las estrellas pasan una delante de otra y se eclipsan podemos calcular el diámetro midiendo la duración del evento.

Así, cuando nace una estrella se 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 °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 forme. Existen planetas sólidos y gaseosos, algunos con zonas líquidas.

En el 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, como el helio y el hidrógeno. Además en torno al Sol había menos materia que aglomerar en la trayectoria de cada planeta. Los planetas gigantes, como Júpiter, y más lejanos, no sólo se formaron con helio, hidrógeno y otras sustancias volátiles, sino que aglomeraron más materia. En el centro se creó el Sol con la mayor parte de la materia, y con lo que sobró se formaron los planetas. Se han descubierto planetas en etapas tempranas de formación, cuando están en proceso de fusionarse con planetoides que forman anillos en torno a sus estrellas. Estos planetas están compuestos de magma, ya que la

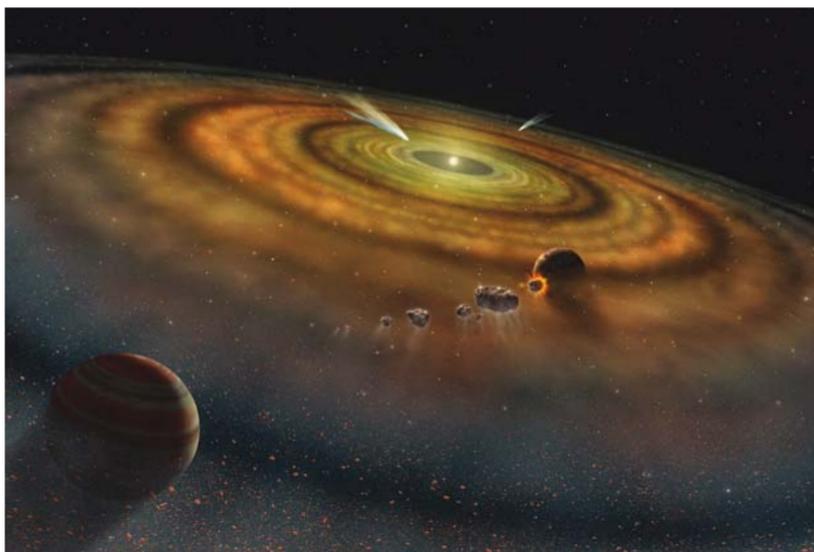


FIGURA 1.5. *Los mundos cercanos al Sol son en su inmensa mayoría rocosos, pues sólo se formaron por compuestos refractarios capaces de resistir la enorme radiación de nuestra estrella recién nacida. El agua se formó posteriormente por el impacto de cometas y meteoritos. Imagen: NASA.*

aglomeración de planetoides transforma energía gravitacional en térmica y funde sus rocas.

En la actualidad se piensa que parte del agua superficial, tanto de Venus como de la Tierra, llegó después de su formación. Los cometas ricos en agua chocaron con estos mundos.

La dificultad para descubrir planetas extrasolares radica en que reflejan poca luz visible. Si pudiésemos observar el Sistema Solar desde un planeta perteneciente a la estrella más cercana, con los mejores telescopios que tenemos, no podríamos ver la Tierra, porque es demasiado pequeña y la luz del sol la opacaría; con mucho esfuerzo percibiríamos apenas a Júpiter. Los nuevos mundos se han descubierto por efectos gravitacionales y algunos se pueden detectar por la radiación infrarroja que emiten.

Así que no es de sorprender que lo primero que se halló al buscar otros mundos fue con 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. Está formado por gas y muchísimos trillones de granos de polvo, este material se aglomerará para dar origen a nuevos mundos.

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 en torno suyo, la atraerían primero en una dirección y después en otra; en consecuencia, su trayectoria en lugar de ser recta sería ondulante. Y precisamente durante los últimos años se han descubierto centenares de estrellas con variaciones de velocidad, lo cual permite conjeturar que tienen compañeros muy débiles y que algunos de ellos serían planetas.

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.

El satélite de Júpiter, Europa, posee un mar debajo de la superficie congelada. Comparada con la de la Tierra, la cantidad de agua que posee es mucho mayor. En comparación con el diámetro de nuestro mundo, que es de 12742 kilómetros, la profundidad promedio de los mares es de 4.267 kilómetros; el diámetro de la Tierra es casi 2000 kilómetros mayor que la profundidad de los océanos que la rodean por ambos lados. De tal suerte que, si desde el espacio la Tierra se ve azul porque 71% de su superficie está cubierta de agua, en realidad la cantidad de agua es muy pequeña y casi toda es salada. De allí la necesidad de cuidarla y tratarla. Hay quienes piensan que a futuro no nos quedará más que importar agua de otros mundos,

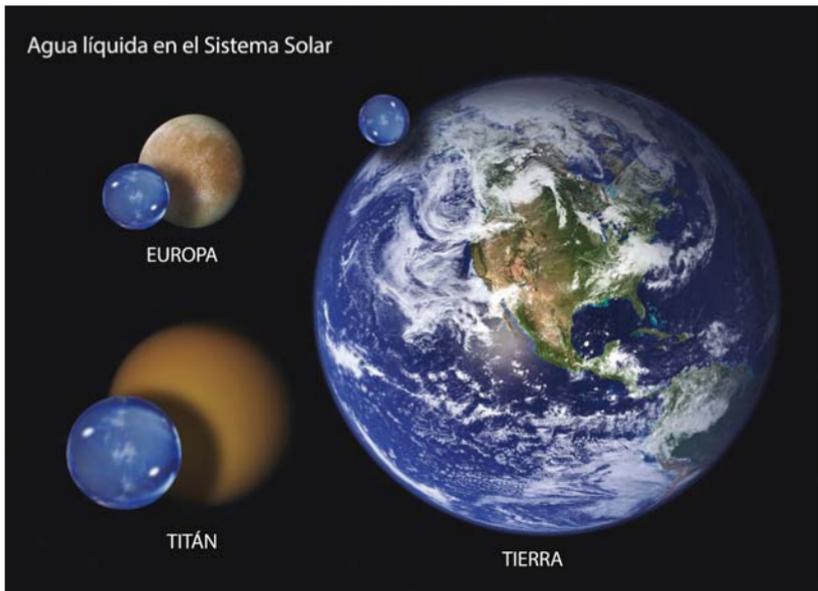


FIGURA I.6. Esta figura muestra el volumen de la cantidad de agua total que tienen los satélites Europa y Titán, y la Tierra comparada con esos mundos. ¡La Tierra tiene menos agua que Europa! Imagen: PHL @ UPR Arcibo, NASA.

a un costo exorbitante, si seguimos desperdiciando y ensuciándola a la misma velocidad que en el presente, sobre todo dentro de 25 años, cuando la población mundial se duplique.

Como adivinará el lector, el gran interés que se ha puesto en descubrir planetas con atmósfera, hielo y agua se debe a la curiosidad de encontrar vida fuera de la Tierra, en particular que sea inteligente. Cabe señalar que hasta la fecha no se ha descubierto ninguna estructura compleja de moléculas similar al ADN en ningún exoplaneta.

Vale la pena señalar que 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 tec-

nología 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.

Durante los últimos años la definición de planeta se ha enriquecido; no sólo existen planetas que giran en torno a otras estrellas, sino que se han descubierto mundos sin estrellas. Es decir, astros tipo Júpiter que comparten el movimiento de las estrellas alrededor del centro de la galaxia de la que formamos parte. Hay exoplanetas de dos tipos, los que giran alrededor de una estrella y los que se mueven libremente en el espacio (sin estar asociados a una estrella).

Los astrónomos buscan desde hace años manifestaciones de vida extraterrestre; calculan las probabilidades de su existencia, los posibles métodos de comunicación, además de ubicar sitios donde podrían formarse planetas que pudieran tener agua líquida. Finalmente, parece que han tenido éxito. Se han descubierto varios planetas relativamente cercanos que se encuentran en la “zona del agua”, es decir, a una distancia tal de su estrella que esta sustancia se halle en forma líquida.

Los primeros tres mundos descubiertos son: el que circunda la estrella 51 del Pegaso, que se encuentra a cinco millones de kilómetros de su sol, en comparación con la Tierra que está a 150 millones de kilómetros del suyo, por lo que la temperatura superficial es de 100 °C. El segundo es un planeta asociado a la estrella 47 de la Osa Mayor; es dos veces más grande que Júpiter. Su composición química es similar a la del Sol y la del resto de las estrellas y planetas gigantes: contiene hidrógeno, metano y amoníaco. La distancia que lo separa de su estrella es el doble de la distancia que hay entre la Tierra y el Sol. El tercero, asociado a la estrella 70 Virginis, es un planeta seis veces más masivo que Júpiter, un mundo gigantesco de gas a 72 millones de kilómetros de su sol.

Lo interesante de estos descubrimientos es comprobar que se forman planetas a distancias tales de sus estrellas que la tem-