



Facultad de Química,  
UNAM



COLECCIÓN DE ARTÍCULOS  
DE CONSULTA PARA EL LABORATORIO  
DE QUÍMICA INORGÁNICA DESCRIPTIVA

*Martín E. Am.*

División de Química  
Departamento de Química  
Inorgánica y Nuclear

*2007.*

# ¿Por qué es oscura la noche?

## Primera parte: la paradoja

por Christine Allen



Figura 1. Un campo estelar en la dirección de la galaxia NGC 205. En regiones típicas, como ésta, y pese a la multitud de estrellas o galaxias que se observan, existen muchas regiones oscuras en el cielo. (Foto del *US Naval Observatory*)

**T**odos nosotros hemos tenido alguna vez la oportunidad de maravillarnos ante el espectáculo que ofrece el cielo estrellado en una noche oscura... Pero seguramente pocos nos hemos percatado de que en el momento mismo de contemplar la oscura bóveda celeste hemos realizado una de las observaciones más profundas e importantes para la cosmología moderna. En efecto, al mirar al cielo nos hemos dado cuenta de que éste es oscuro, de que no está completa y uniformemente tapizado de estrellas, sino que

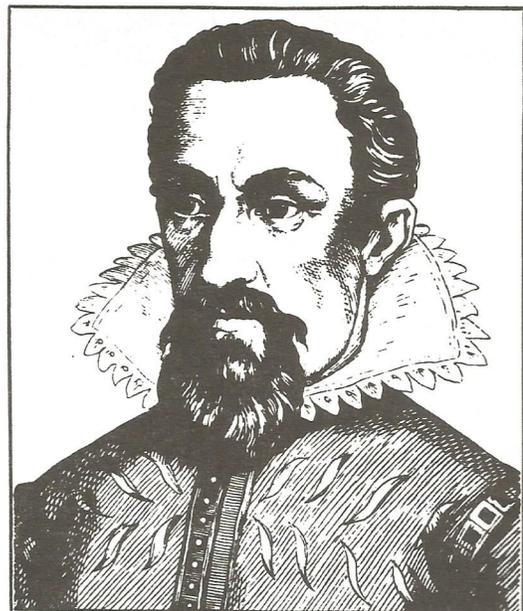
entre éstas hay huecos. Este hecho, en apariencia tan inocente y hasta trivial, encierra un fundamental significado; la respuesta común que se da a la pregunta de por qué es oscura la noche es que el Sol brilla sobre el otro hemisferio de la Tierra, y la luz de las estrellas es muy débil. La relativa debilidad de la luz de las estrellas está relacionada con las características globales de Universo. Hoy sabemos que la oscuridad de la noche, tan cercana al corazón de los poetas y de los enamorados, es un hecho observacional que

contiene información sobre la estructura misma del Universo. Pero para haber llegado a este conocimiento, para haber logrado encontrar una respuesta satisfactoria a la pregunta de por qué es oscura la noche han sido necesarios varios siglos de trabajo astronómico. El primer paso en este proceso fue, desde luego, haber formulado el problema, haberse planteado una pregunta de tal simplicidad y de tal importancia; para ello, fue necesario que la humanidad produjera un genio: su nombre fue Johannes Kepler.

Corría el año de 1609. Por aquella época acababa de publicarse, después de muchas vicisitudes, la *Astronomía Nova*, una de las obras más importantes de Kepler, en la cual se formulan las dos primeras leyes del movimiento planetario. Kepler, quien a la sazón ocupaba en Praga el puesto de Matemático Imperial, era un convencido copernicano; cuando le llegó la noticia de que Galileo, en la lejana Padua, había dirigido al cielo un catalejo y había observado cuatro nuevos "planetas" se quedó sumamente intrigado. Escribió a Galileo solicitándole mayores informes, así como una descripción de su instrumento. Galileo no contestó esta carta, pero al poco tiempo el Emperador Rodolfo II recibió un ejemplar del libro de Galileo *Siderius Nuncius* (*El mensaje sideral*), que por entonces acababa de ver la luz. El Emperador enseguida le pasó el libro a su Matemático Imperial; la lectura del *Siderius Nuncius* le aclaró a Kepler que los supuestos "planetas" eran en realidad satélites de Júpiter, y lo convenció de la veracidad de los descubrimientos de Galileo, en una época en la que poca gente creía en ellos. Kepler, entusiasmado, escribió en pocos días un folleto de título *Conversación con el Mensajero Sideral*, en defensa de Galileo; la pequeña obra se publicó en el año de 1610.

El apoyo decidido y explícito del Matemático Imperial a los hallazgos de Galileo constituyó la primera voz ilustrada que públicamente salía en defensa de este último, y convenció a algunos de sus adversarios para que ellos mismos observaran, con nuevos y mejores telescopios, los satélites recién descubiertos. Pero además de la importancia que tuvo en la controversia que se suscitaba en torno a Galileo, el folleto de Kepler tiene el mérito histórico de plantear por primera vez la cuestión de la oscuridad del cielo nocturno.

Kepler investiga el problema de si el Universo es finito o infinito, y llega a la conclusión de que no puede ser infinito. En realidad, para Kepler la idea de un universo infinito es aterradora: "... sólo de imaginárnoslo sentimos un profundo y secreto horror... nos encontramos perdidos en esta inmensidad sin límites y sin centro, y por tanto también sin ningún lugar definido..." Examina algunas de las consecuencias que acarrearía un universo infinito. Para ello, se imagina un universo de extensión indefinida en todas las direcciones, y poblado más o menos uniformemente de estrellas similares a nuestro Sol. Según él: "...los planetas brillan porque reflejan la luz del Sol, pero las estrellas fijas tienen brillo propio, como el Sol. Pero entonces, ¿no serán éstas verdaderos soles, como lo asevera Bruno? De ninguna manera. El gran número de estrellas descubiertas por Galileo demuestra que las estrellas fijas son muchos más pequeñas que el Sol... De hecho, si el Sol no fuera inconmensurablemente más brillante que las estrellas fijas... la bóve-



Johannes Kepler.

Ob. v. 27. Dec. 1631 in Wetz in Schwaben, geb. v. 15. Dec. 1571 in Weinsberg.

Welcherübter Astronom: wirkte trotz vieler äußeren Schwierigkeiten, die ihm theils der Katholiken, theils seiner minder aufgeklärten protestantischen Glaubensgenossen Verfolgungslust, theils endlich die Anfechtung der kaiserlichen Hofkammer bereite mit wunderbarem Fortschritte, ausdauerndem Eifer und herrlichem Erfolge im Dienste der Wissenschaft. An die Sternwart zu Prag neben Tycho de Brahe berufen, später zum Nachfolger desselben ernannt, verweilte er Tycho's zwanzigjährige und seine eigenen rationellen Beobachtungen, unter Verwerfung des Tycho'schen Systems, zum Aufbau des Kopernikanischen und legte mit diesem und seinen berühmten drei Gesetzen den Grund zur neuen Astronomie.

Figura 2. Johannes Kepler (1571-1631)

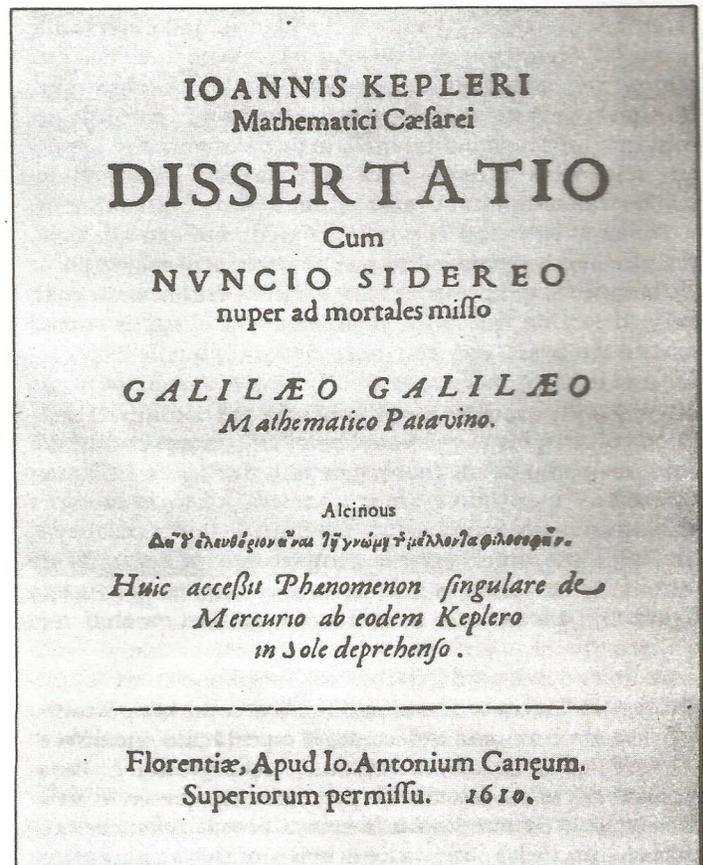


Figura 3. Portada de la "Conversación con el mensajero sideral", obra en la que Kepler formula la paradoja de la oscuridad del cielo nocturno



Figura 4. Isaac Newton (1642-1727)



Figura 5. Edmond Halley (1656-1742)

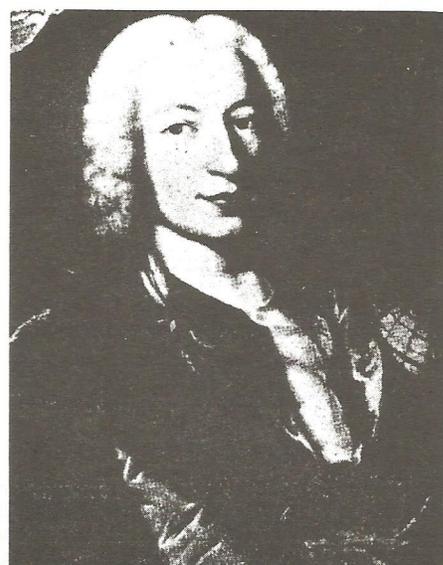


Figura 6. Jean-Philippe Loys de Cheseaux (1718-1751)

da celeste sería tan luminosa como el Sol.” Argumenta que “no dudamos en declarar que el número de estrellas visibles es mayor que 10 000; si hubiera muchas más, tanto más apretadas unas contra las otras las veríamos, y tanto más firme se vuelve nuestro argumento en contra de la infinitud del universo.” Como en realidad lo que observamos es que las noches son oscuras y que el cielo nocturno no está totalmente tachonado de estrellas, Kepler concluye que, claramente, “este mundo nuestro no forma parte de un conjunto infinito e indiferenciado de otros mundos”; es decir, encuentra razones para rechazar la —para él terrible— idea de un universo infinito y homogéneo.

Podemos visualizar el problema mediante una analogía. Imaginemos a un paseante que se encuentre en medio de un bosque. Si el bosque es muy extenso, entonces en cualquier dirección que mire el paseante su visual se topará tarde o temprano con un tronco de árbol, que le impedirá ver más lejos. Su horizonte estará completamente tapizado de troncos de árbol (véase la figura 1). De la misma manera, al contemplar el cielo nocturno, estaríamos por así decirlo, en medio de un “bosque de estrellas”, y en cualquier dirección que miráramos nuestra visual siempre encontraría una estrella que nos impediría ver más lejos: nuestro “horizonte” estaría completamente tapizado de estrellas, y no veríamos huecos oscuros entre ellas (véase la figura 2). La bóveda celeste no sería oscura sino que brillaría intensamente, con un brillo comparable al brillo superficial del disco del Sol. Desde luego que en estas condiciones la Tierra se encontraría rodeada de un verdadero infierno de luz, toda vida cesaría en ella, los océanos se evaporarían y la Tierra misma se volatilizaría en unas cuantas horas. Como claramente éste no es el caso, podemos concluir, como lo hizo Kepler, que el Universo no se parece a una selva infinita de árboles, ni siquiera a una extensa floresta, sino más bien a un pequeño bosquecillo en medio de un desierto.

Copérnico, siguiendo la tradición aristotélica, aborrecía

el concepto de un universo infinito: su universo era finito y con un borde definido. Pero ya en la época de Kepler, e incluso antes, había autores que apoyaban la idea de un universo infinito. Así, Thomas Digges, en su obra *A Perfit Description of the Caelestiall Orbis*, aparecida en 1576, se imaginaba un universo copernicano, pero sin borde e infinito, poblado por las estrellas “fijas”. El concepto de un universo ilimitado e infinito ya había sido propuesto por el poeta romano Lucrecio en su poema épico *La naturaleza del Universo* (redescubierto a principios del siglo XV), y fue aceptado con entusiasmo por Giordano Bruno y por William Gilbert. La aguda crítica de Kepler hizo imposible que esta idea se sostuviera; en adelante quedaba planteado el dilema: habría que elegir entre un universo con borde y con noches oscuras, o bien un universo infinito con noches resplandecientes. Desde entonces tenemos conciencia de lo que más tarde se llamaría la *paradoja de Olbers*.

La pequeña obra de Kepler alcanzó una considerable difusión e incluso cierta fama. El dilema por él percibido está presente también —y en muy aguda medida— en el modelo newtoniano del Universo. Para Newton, en efecto, el Universo era infinito e ilimitado. Tanto la luz como la fuerza gravitatoria disminuyen con el cuadrado de la distancia (véase el recuadro). Esto supone que en el universo newtoniano recibiríamos una gran cantidad de luz procedente de las estrellas lejanas, pero también experimentaríamos intensas fuerzas. Newton se imaginaba que el problema de las fuerzas podría resolverse suponiendo que el Universo fuera homogéneo, pues así en todo punto las fuerzas provenientes de direcciones opuestas serían iguales y se cancelarían; pero claramente esto no ocurre con la luz: las contribuciones procedentes de direcciones opuestas se suman. Al parecer, el primero en discutir el problema de la oscuridad de la noche en el universo newtoniano fue Edmond Halley. En el año de 1720 Halley publicó dos importantes artículos sobre el tema: “Sobre la infinitud de la esfera de las estrellas fijas” y “Sobre el número, el orden y la

luz de las estrellas fijas.” En sus propias palabras: “He oído afirmar que si el número de estrellas fijas fuese más que finito, entonces toda la superficie de su esfera aparente sería luminosa.” Halley proponía una solución al dilema, la cual — como hoy sabemos y como Newton seguramente sabía — es incorrecta (además de confusa). Según Halley, “la luz no es divisible *ad infinitum*, y en consecuencia la luz de las estrellas más lejanas disminuye en una proporción mayor que la de la regla común, hasta volverse imperceptible incluso con los mejores telescopios”. Volviendo a nuestra analogía del bosque, la solución de Halley equivaldría a proponer que más allá de cierta distancia todos los árboles de la selva se vuelven invisibles, y que por tanto sólo percibimos un bosquecillo en medio de un desierto. Como veremos más adelante, la solución moderna a la paradoja de la oscuridad de la noche guarda cierto parecido con la propuesta por Halley, pero por razones que éste no podía sospechar. Newton, quien ya antes había pensado profundamente sobre los dilemas a los que conduce la infinitud del Universo, presidió la sesión de la *Royal Society* en la que Halley mismo presentó sus conclusiones. Es un hecho extraño que las minutas de la reunión no registran ningún comentario de Newton ante las aseveraciones de Halley. Es posible que Newton, extremando su acostumbrada prudencia, se quedara callado; pero también se ha sugerido que éste, quien por entonces contaba



Figura 7. Heinrich W. Olbers (1758-1840)



Figura 8. En un bosque extenso nuestro “horizonte” se ve limitado por un gran número de troncos de árbol, que nos impiden ver los árboles más lejanos. (E.R. Harrison, 1980)

ya con cerca de 80 años, pudo quedarse dormido durante la sesión de la *Royal Society*... Ciertamente, sabemos que tres décadas antes, al redactar las notas para una edición revisada de los *Principia*, Newton había formulado con precisión el problema de la oscuridad del cielo nocturno: “En el modelo geométrico, los cuerpos lúcidos que se encuentren al doble de la distancia serán cuatro veces más débiles, y cuatro veces más numerosos.” (Compárese esta formulación con la versión moderna, contenida en el recuadro.)

La oscuridad de la noche continuó intrigando a los científicos. Algunos años más tarde, en 1744, el astrónomo suizo Jean Philippe Loys de Cheseaux propuso otra solución al dilema, en un apéndice a su *Traité de la Comète*, que llevaba por título “Sobre la fuerza de la luz y su propagación por el éter, y sobre las distancias a las estrellas fijas.” En esta obra, Cheseaux atribuye la oscuridad de la bóveda celeste “ya sea al hecho de que la esfera de las estrellas fijas no sólo no es infinita sino incluso más pequeña de lo que hemos supuesto, o bien a que la intensidad de la luz disminuye en proporción mayor que el cuadrado de las distancias. Esta suposición es plausible; requiere sólo que el cielo esté lleno de algún fluido capaz de absorber luz, así sea muy ligeramente”. Calcula el radio de la esfera que es necesario tomar para que, en ausencia de absor-

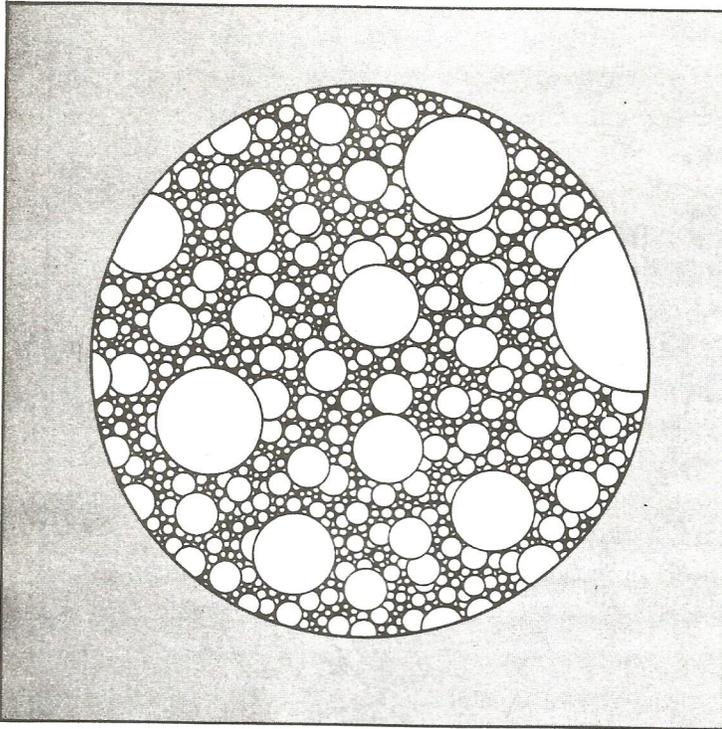


Figura 9. En un "bosque" infinito de estrellas nuestro "horizonte" se ve limitado por un gran número de discos estelares, que impiden que llegue a nosotros la luz de las estrellas más lejanas. La bóveda celeste estaría completamente tapizada de estrellas, y su brillo sería comparable al del disco solar. (E.R. Harrison, 1981)

ción, el cielo quede completamente tapizado de estrellas (con valores modernos resulta un radio de  $2 \times 10^{16}$  años-luz), y calcula también que un fluido con una transparencia  $3 \times 10^{17}$  veces mayor que la del agua tendría el efecto requerido para que el cielo nocturno fuera oscuro. El trabajo de Cheseaux, pese a ser sumamente interesante, quedó relegado al olvido durante largo tiempo. Nótese que en él se postula ya la existencia de un medio interestelar capaz de absorber la luz de las estrellas lejanas. No fue sino hasta 1930 que, gracias al trabajo de R. Trumpler, pudo demostrarse de manera convincente que entre las estrellas había en efecto gas y polvo.

En el año de 1823 el astrónomo alemán Heinrich Olbers estudió el problema de la oscuridad del cielo nocturno, y llegó esencialmente a las mismas conclusiones que Cheseaux. Publicó sus resultados en un artículo titulado "Sobre la transparencia del espacio". Olbers, al parecer, desconocía el trabajo de Cheseaux (quizás porque nunca se le ocurrió buscarlo en un libro sobre cometas), pero sí hace mención a los artículos de Halley. Si volvemos a nuestra analogía, la idea del medio interestelar absorbente equivale a proponer que la selva de árboles se encuentra cubierta por una tenue neblina o humo que nos impide ver los árboles lejanos. Como lo demostró John Herschell en 1848, esta solución es incorrecta, puesto que el fluido absorbente, expuesto al flujo luminoso de infinidad de estrellas, pronto se calentaría y terminaría emitiendo tanta energía como la que recibe.

Quizá debido a que Olbers fue un distinguido astrónomo que sabía darle adecuada publicidad a sus trabajos, quizás al proverbial descuido de los científicos de verificar cuida-

## Recuadro

### La paradoja de Kepler-Halley- Cheseaux- Olbers o paradoja de la oscuridad de la noche

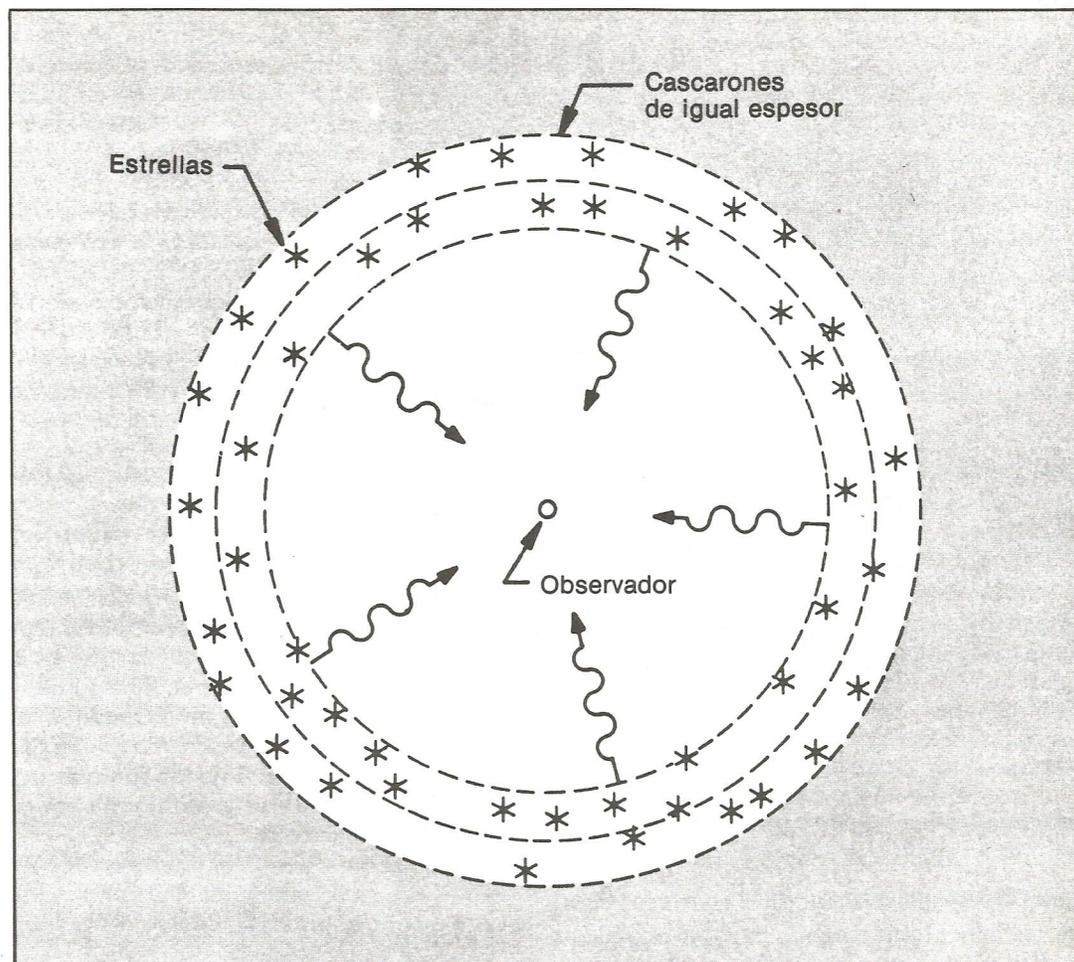
Intentaremos visualizar el problema de la oscuridad del cielo nocturno en su versión clásica, sin las complicaciones que introducen los descubrimientos de nuestro siglo (la existencia de galaxias externas a la nuestra, la expansión del Universo, etcétera); es decir, procederemos en el contexto de un universo infinito, estático y homogéneo, poblado de estrellas similares al Sol, tal como lo proponía Newton. Supongamos que estamos en un lugar cualquiera del espacio. La densidad estelar, es decir, el número de estrellas por unidad de volumen es la misma en todos sitios. Dividamos imaginariamente el espacio en cascarones esféricos, del mismo espesor, y concéntricos al lugar donde nos encontramos (véase la figura 10); los cascarones más cercanos a nosotros contendrán pocas estrellas. Por otra parte, la luz de las estrellas situadas en cascarones lejanos nos llegará muy atenuada. Ahora bien, como la densidad estelar es constante, el número de estrellas en cada cascarón aumenta con el volumen del cascarón, es decir, con el *cuadrado de su radio*. Pero la intensidad de la luz que re-

cibimos de una estrella es inversamente proporcional al *cuadrado de la distancia* que nos separa de ella. En consecuencia, la cantidad de luz que recibimos de cada cascarón es fija, constante, y no depende de la distancia a la que se encuentre.

Todos los cascarones contribuyen con una cantidad igual de luz.

Entonces, si el Universo es infinito, el número de cascarones que tendremos que sumar también lo es, y el cielo será infinitamente brillante. En realidad, como las estrellas no son puntos luminosos sin dimensión, sino pequeños discos, antes de que la intensidad luminosa se haga infinita, nos encontraremos con la bóveda celeste densamente tapizada de estrellas, que impedirán que nos llegue la luz de las estrellas más lejanas. En otras palabras, no debemos sumar un número infinito de cascarones, sino sólo los suficientes para cubrir densamente de estrellas la bóveda celeste. Por esta razón, el cielo no será infinitamente brillante, sino que tendrá un brillo similar al que presenta el disco del Sol.

Figura 10. Dos cascarones del mismo espesor y concéntricos con el observador. La luz total proveniente de cada cascarón es la misma. (E.R. Harrison, 1980)



dosamente las fuentes históricas, pero lo cierto es que el problema de la oscuridad del cielo nocturno se conoce amplia e incorrectamente en la actualidad como la “paradoja de Olbers”. El distinguido cosmólogo H. Bondi ha sido quien, en tiempos recientes, ha hecho más hincapié en la importancia cosmológica del cielo oscuro, y tal vez sea el responsable de la vulgarización del término “paradoja de Olbers”. La designación es doblemente inapropiada, pues ni su planteamiento ni su resolución se deben a Olbers. Como hemos señalado, ya antes Kepler, Halley y Cheseaux se habían dado cuenta de que la oscuridad nocturna presentaba un problema; también hemos visto que la solución propuesta por Olbers al problema es incorrecta. Ante lo incómodo de referirse, con la debida justicia, a la “paradoja de Kepler-Halley-Cheseaux-Olbers”, quizá lo mejor sería hablar de la “paradoja de Kepler-Olbers”, o bien “paradoja de la oscuridad de la noche”.

John Herschell, después de demostrar que la absorción interestelar propuesta por Cheseaux y Olbers no puede ser la solución al problema de la oscuridad del cielo nocturno, se vio obligado a proponer alguna salida al dilema; la solución de Kepler, esto es, un universo finito con un borde definido, había pasado de moda, y los científicos pensaban ya en términos del universo de Newton, infinito, ilimitado y eterno. Herschell propuso un universo jerárquico, en el cual las estrellas se agrupan en cúmulos, los cuales a su vez

se agrupan en cúmulos de cúmulos, y así sucesivamente, hasta el infinito. La idea inspirada por I. Kant de una jerarquía infinita de cúmulos de tamaño cada vez mayor fue recogida y adaptada por Richard Proctor y Fournier d’Albe; gozó de gran popularidad y cierta aceptación a principios de nuestro siglo, gracias a los cálculos de Carl Charlier y Hugo Seeliger, quienes demostraron que puede construirse un universo infinito y jerárquico que evita los problemas de fuerzas infinitas y cielos brillantes. La esencia del argumento consiste en postular que mientras mayor es el tamaño de la agrupación, menor es su densidad, de manera que, si tomamos (como en el ejemplo del recuadro) cascarones concéntricos de igual espesor, el número de estrellas crece más lentamente que el cuadrado del radio; así se resuelve el problema del cielo oscuro. Sin embargo, los universos jerárquicos tienen varias desagradables características: son heterogéneos a cualquier escala, con frecuencia anisotrópicos, y tienen uno o varios “centros”; por ello, no gozan de mucho favor en la actualidad.

Hasta ahora hemos considerado el problema de la oscuridad del cielo nocturno en el contexto de los universos de Kepler y de Newton. Para las mentes modernas, ambos modelos dejan mucho que desear. En el próximo número de *Ciencia y Desarrollo* tendremos oportunidad de examinar las soluciones a la paradoja de la oscuridad de la noche que ha aportado la visión moderna sobre el Universo. ☉