

NEUROGASTRONOMY: HOW THE BRAIN CREATES FLAVOR AND WHY IT MATTERS

Por Gordon M. Shepherd. Columbia University Press; Nueva York, 2012.

Neurogastronomía

Función determinante del cerebro

Los lectores de *Investigación y Ciencia* han disfrutado con las páginas de quimiogastronomía firmadas por Hervé This, autor de una celebrada *Molecular gastronomy: exploring the science of flavor*; animador de semanas y simposios internacionales sobre la materia y redactor de la edición francesa de *Scientific American* durante muchos años. Inspirador de este libro del profesor de neurobiología de la facultad de medicina de Yale y antiguo director del *Journal of Neuroscience*, escribe ponderándolo: «¿Los fogones? Por encima de todo es cuestión de amor, luego arte, después técnica. Chefs y amantes de la buena mesa pueden beneficiarse de un mayor conocimiento de los factores que intervienen en el proceso culinario, del huerto al tenedor. De ahí la importancia del aroma y la justificación del título de esta obra de Gordon M. Shepherd». A Shepherd se le reconocen valiosas aportaciones al dominio de los microcircuitos cerebrales, sintetizadas en su ahora clásico *The synaptic organization of the brain*. Entre esos microcircuitos, el de la olfacción reviste interés para la percepción del olor.

Nos alimentamos, con frecuencia diaria, movidos por un apetito que está regulado por hormonas, que lo activan cuando tenemos hambre y lo inactivan cuando quedamos satisfechos. Tal regulación endocrina no explica por qué nos gustan unos alimentos y otros no, por qué ansiamos lo que nos deja buen sabor o rechazamos lo desabrido. Para responder a las cuestiones de ese tenor se está creando una nueva disciplina, centrada en los aromas de los alimentos. Pero conviene aclarar conceptos y despejar errores. De estos, uno muy extendido afirma que los alimentos contienen los aromas. Lo cierto es que los alimentos contienen las moléculas de los aromas; los aromas, en cuanto tales, son creaciones de

nuestro cerebro. Por eso de ellos se ocupa la neurogastronomía, que nos describe de qué modo el sistema cerebral del aroma, quizás el más extenso, crea percepciones, emociones, recuerdos, conciencia, lenguaje y decisiones.

Avanzados los ochenta, la comunidad científica aceptaba todavía que el olfato había perdido importancia para la supervivencia a favor de la vista cuando nuestros antepasados comenzaron a caminar erguidos. Shepherd está ayudando a cambiar de opinión: cuanto más se acerca a la mesa la investigación, mejor nos percatamos de que los placeres reales de la vida se hallan ligados al olfato. Se había venido preparando el terreno: desde la anatomía de la digestión, que explica la masticación y absorción de los alimentos; desde la fisiología, que analiza el transporte de los olores hasta las células sensoriales mediante la inspiración y la espiración; desde la psicología, que estudia la combinación de olor y sabor para producir lo que aquí denominamos aroma, una de las sensaciones más complejas; desde la neurociencia cognitiva, que usa la técnica de formación de imágenes para demostrar la aparición del aroma a partir de la actividad de los niveles cerebrales superiores; desde la neurofarmacología, que aborda la excitación de determinadas áreas del cerebro por el ansia de comer, las mismas estructuras que se activan con el deseo de tabaco, alcohol o drogas; desde la bioquímica, que detalla las hormonas circulantes en el torrente sanguíneo que despiertan el hambre; desde la antropología, que explica por qué la cocción del alimento constituyó el motor de la evolución; desde la biología molecular, que descubre que los receptores sensoriales del olor forman la familia más extensa de genes de nuestro acervo y desentrañan el origen molecular

de nuestra percepción de los olores; por fin, desde la etología, que muestra cómo monos y humanos poseemos un sentido del olfato muy fino.

De todas esas aportaciones de fuentes diversas se desprende que la percepción del aroma no se debe a la inhalación, sino a la espiración y retorno por las vías nasales, mientras masticamos y deglutimos. A ese proceso se le llama olor retronasal. El sentido del gusto, si lo definimos con precisión, consta de sensibilidad solo para con lo dulce, salado, amargo, agrio y umami. El olor retronasal constituye, en cambio, la nueva frontera para el estudio de la creación cerebral del sentido del aroma. Los sabores elementales se perciben desde el nacimiento, mientras que los olores retronasales se aprenden y quedan abiertos a las diferencias individuales.

La propia investigación realizada por Shepherd ha llevado a la conclusión de que la inhalación genera una pauta espacial de actividad en el cerebro, pauta que opera como imagen del olor, variable según este, a la manera en que cada rostro forma una imagen distinta en nuestro sistema visual. El cerebro reconoce las pautas. Añádase, además, que el hombre ha desarrollado un cerebro voluminoso. Aunque nuestro aparato sensorial no posea tantas moléculas o células receptoras como otros mamíferos, ello no empece que poseamos un poderoso sentido del olor. Ese cerebro grande que nos permitió adquirir el lenguaje es el que nos faculta para desarrollar un extraordinario sentido del aroma. Ese nivel elevado de procesamiento (donde se incluyen sistemas para la memoria, emoción, cognición y lenguaje) nos concede un sistema cerebral único del aroma. En este, el papel principal se reserva para el olor.

En una fase inicial, los sistemas sensoriales que intervienen en el aroma transforman las representaciones sensoriales individuales para constituir la sensación del aroma. Se parte de los cinco sentidos, que reciben sus estímulos en sus receptores y los convierten en representaciones neurales. El olfato forma, en el sistema límbico prosencefálico, recuerdos olorosos, pues tienen acceso directo a los sistemas cerebrales de la memoria y la emoción. La corteza olfatoria se proyecta ulteriormente a la corteza orbitofrontal, donde establece conexión con los centros superiores de las capacidades, exclusivas del hombre, del juicio y la planificación. Las vías del gusto llegan al tronco cerebral, para proceder luego hasta sus áreas

corticales, donde interaccionan con otras representaciones sensoriales del núcleo del aroma. Los diferentes tipos de tacto que el alimento y la bebida activan en la boca se envían, a través de las vías del tacto, hacia el tronco cerebral, y de allí pasan al tálamo y sus áreas corticales receptoras y asociativas. La vista del alimento y la comida antes de que los consumamos activa la trayectoria visual que pasa a través del tálamo hacia las áreas visuales en la parte posterior del cerebro. Posee una influencia determinante sobre cómo juzgamos su aroma. El sonido, por fin, que emana de la masticación y deglución, se integra en la experiencia del aroma. Sabido es que la integración multisensorial se produce cuando la respuesta celular de una región a dos o más estímulos al mismo tiempo es más que la suma de las respuestas individuales. Hablamos entonces de supraadición. Con la alimentación se produce la activación simultánea de

un conjunto común de regiones (córtex orbitofrontal, ínsula anterior, operculum y giro cingulado anterior), que configura la representación distribuida en nuestra mente de un objeto aromático. La imagen percibida crea la representación neural de un aroma recordado.

El sistema cerebral del aroma desempeñó un papel determinante en la evolución del hombre. Cinco tipos de pruebas lo avalan: el registro génico, la competición entre visión y olfacción, el aumento del volumen cerebral, la adaptación del sistema musculoesquelético a la búsqueda de alimento y el control del fuego y de la cocina. La disminución observada de genes receptores olfatorios en el hombre se vio compensada por el desarrollo del prosencéfalo, al que tiene acceso directo privilegiado la vía olfatoria. En otro orden, hace dos millones de años, ciertos grupos humanos salieron de África. Algunos llegaron a Indonesia en un tiempo corto

(desde el punto de vista evolutivo). Ello pudo facilitar no solo la estatura erecta y el agrandamiento del cerebro, sino también los cambios esqueléticos que reflejan adaptaciones a grandes recorridos; entre dichas adaptaciones estarían fémures más largos, relaciones más flexibles entre el torso y las extremidades para posibilitar un mayor equilibrio en la carrera. A esas adaptaciones deben sumarse las vinculadas con la búsqueda de comida más apetitosa con hierbas y especias. Un episodio crítico fue el uso del fuego para elaborar la comida y aligerar el trabajo mandibular. La cocción facilita la socialización de los miembros del clan y cierta estructuración de la sociedad (fabricantes de cacharros de cocina, de útiles). A buen seguro los comentarios sobre el estado del alimento debía ser motivo de conversación en torno al fuego, su sabor. Lo que puso en relación lenguaje, olores y aromas.

—Luis Alonso



AGRICULTURE BIOLOGIQUE: ¿ESPOIR OU CHIMÈRE?

Por M. Dufumier, G. Rivière-Wekstein
y Th. Doré. Éditions Le Muscadier;
París, 2013.

Agricultura ecológica

Debate

¿Hay que decantarse por lo «bio»? En estos tiempos de escándalos sanitarios, de contaminación galopante y de desequilibrios ecológicos, esa pregunta agita las mentes. Hay quienes lo ven como la solución a todos estos problemas, mientras que otros denuncian la falsa esperanza de una agricultura ecológica incapaz de satisfacer las necesidades de una población que no para de crecer. Así pues, ¿es lo «bio» la panacea o una trampa?

En un intento de dar una respuesta razonada a esa cuestión, este librito enfrenta dos posiciones contrapuestas: la de un partidario de lo «bio» (el agrónomo Marc Dufumier) y la de un crítico (el periodista especializado en agricultura Gil Rivière-Wekstein). De manera original, ofrece también la perspectiva que de estas dos

posiciones tienen un mediador (el investigador en agronomía Thierry Doré). El resultado es doblemente interesante. En primer lugar, la idea de una confrontación, en la que los autores se responden y en la que interviene un mediador que intenta adoptar cierta amplitud de miras, permite evitar la simple yuxtaposición de opiniones. Nos hallamos ante un verdadero debate constructivo y una fórmula editorial interesante.

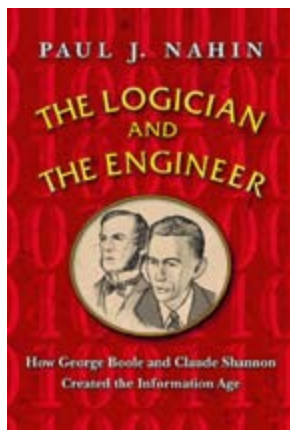
En cuanto al fondo, el libro tiene el mérito de presentar, de forma clara y concisa, algunas virtudes y defectos atribuidos a la agricultura ecológica. Las virtudes ya son bien conocidas, puesto que lo «bio» se define a menudo en oposición a los efectos dañinos de una agricultura intensiva que utiliza una gran

cantidad de plaguicidas. Por tanto, sería mejor para la salud, no contaminaría el ambiente, favorecería la biodiversidad, etcétera. Pero el interés de la presentación de Dufumier reside sobre todo en que muestra que la agricultura ecológica, si se generalizase, sería una gran ayuda para los países del sur, ya que sufrirían menos la competencia desleal por parte de la agricultura «dopada» de los países del norte y estarían en mejores condiciones para responder ellos mismos a sus crecientes necesidades.

Como crítico de la agricultura ecológica, Rivière-Wekstein denuncia los orígenes reaccionarios de este tipo de cultivos (mediante la valorización del terruño y su rechazo a la modernidad), sus miedos irracionales hacia todo producto que proceda de la industria química o de laboratorios de genética, la utilización de plaguicidas contrariamente a lo que aseguran, etcétera.

En última instancia, el mediador solo puede constatar que Rivière-Wekstein «crítica menos [...] la agricultura ecológica en sí misma que su inserción social» y su rechazo, a veces excesivo, de la contribución de la química o de la genética. Incluso a los ojos de quien se presenta como adversario, la agricultura ecológica no parece una quimera si se la despoja de lo superfluo. En conjunto, una buena base de reflexión para un enfoque razonado de lo «bio».

—Thomas Lepeltier



THE LOGICIAN AND THE ENGINEER. HOW GEORGE BOOLE AND CLAUDE SHANNON CREATED THE INFORMATION AGE

Por Paul J. Nahin. Princeton University Press; Princeton, 2013.

Álgebra digital

La fecunda alianza del álgebra de Boole con la teoría de la información de Shannon

Con frecuencia, tendemos a considerar invenciones aisladas los adelantos técnicos. Pasan inadvertidas las bases matemáticas y científicas. Nahin muestra, recorriendo la historia intelectual de George Boole y Claude Shannon, que la conexión entre teoría y aplicación práctica resultó definitiva para el advenimiento del mundo moderno y preanuncio del futuro, computación cuántica incluida. El álgebra o lógica de Boole se encuentra en el corazón de la circuitería electrónica de los aparatos que utilizamos en la vida diaria. Para que el lector conozca el tema desde dentro, se hilvanan problemas lógicos que el este debe resolver y se traen a colación contribuciones clave de Georg Cantor, Tibor Radó, Marvin Minsky o Alan Turing.

George Boole nació en Lincoln, una ciudad del norte de Inglaterra, el 2 de noviembre de 1815. Dedicado al oficio de zapatero, su progenitor era un hombre afable y muy interesado en matemática, así como hábil constructor de instrumentos ópticos, entre ellos un telescopio, que puso en el escaparate de la tienda para uso y disfrute de los paseantes. Ayudado de su hijo, construyó también una cámara oscura. Su padre le enseñó, además, los rudimentos de la matemática, si bien la formación de Boole fue en buena medida autodidacta. A los dieciséis años se convierte en ayudante del maestro de una pequeña escuela de Doncaster. Compaginó este trabajo con el estudio asiduo de la matemática, con tal provecho que, andando el tiempo, podría entender el *Calcul des fonctions* y la *Mécanique analytique*, de Lagrange; la *Mécanique celeste*, de Laplace; los *Principia*, de Newton, y el *Traité de mécanique*, de Poisson. Según confesión propia, lo hizo con fuerza de voluntad, leyendo y releendo hasta entenderlo.

Prosiguió sus estudios de matemática en otros lugares, donde se trasladó en busca de trabajo. Ganó dinero para levantar su propia escuela. Y, en 1838, se atrevió a escribir su primer ensayo: *On certain theorems in the calculus of variations*. A él le siguió otro de título ambicioso *Researches on the theory of analytical transformations, with special application to the reduction of the general equation of the second order*. Aparecieron en una revista recién fundada, el *Cambridge Mathematical Journal*, en la que iría publicando sus trabajos. En 1843 preparó *On a general method in analysis*, donde emplea álgebra simbólica, ecuaciones diferenciales y ecuaciones en diferencias. Con álgebra simbólica, Boole comenzó lo que sería la pieza central de su obra matemática: tratar las operaciones (pensemos en la diferenciación) como operadores simbólicos que pudieran manipularse como si fueran números. De ese modo, los operadores quedaban separados de sus argumentos. El trabajo se publicó en las *Transactions of the Royal Society of London*. Le supuso la Royal Medal al mejor trabajo matemático publicado en esa revista de prestigio entre junio de 1841 y junio de 1844. Desde ese hito, contó con el reconocimiento de la comunidad científica.

Siguió publicando sin solución de continuidad. En 1847 extiende su interés en álgebra simbólica desde lo puramente matemático hasta la lógica, reflejado en *Mathematical analysis of logic*, que se convertiría en el primer borrador de su obra maestra, *Investigation of the laws of thought*, que aparecería siete años más tarde (1854). En 1849, a sus 34 años, pese a no poseer títulos académicos, pero con el apabullante respaldo de su obra escrita y la medalla conseguida, fue nombrado catedrático de matemática del Queen's Co-

lege de Cork. Desde el comienzo, la vida académica en Cork fue una carrera de éxitos. En 1852 la Universidad de Dublín le numera entre sus doctores honorarios. Cinco años después, fue elegido *fellow* de la Regia Sociedad de Londres y, en 1858, se le concedió el premio Keith. En 1859 difunde *A treatise on differential equations*; Oxford también le nombra doctor honorario. Al año siguiente publica un nuevo manual, *A treatise on the calculus of finite differences*. Murió de pulmonía a los cincuenta años no cumplidos.

An investigation of the laws of thought ejercería un impacto decisivo en el destino de la humanidad. La importancia de la obra de Boole no se apreció en su tiempo. Hubo que esperar casi un siglo, hasta 1938, en que hizo acto de presencia el matemático e ingeniero eléctrico Claude Shannon, quien publicó ese año un artículo famoso (basado en su tesis de licenciatura del MIT) sobre cómo aplicar la matemática de Boole en forma de relé eléctrico de conmutación de circuitos. Las ideas de Boole y Shannon, juntas, pavimentaron el camino de la era digital. El álgebra de Boole, o lógica matemática, se transforma, a través de Shannon, en la herramienta analítica rutinaria de los ingenieros que proyectan circuitos electrónicos, sin los cuales no podríamos ya vivir en nuestra sociedad de la información.

Claude Elwood Shannon nació el 30 de abril de 1916 en Petoskey, Michigan. Desde muy pronto sintió una profunda atracción por desentrañar el funcionamiento de las cosas. Se aficionó a la aeromodelización, construyó barcos con guía de radiocontrol y proyectó un sistema telegráfico que conectaba su casa con la de un amigo a más de medio kilómetro de distancia. Se licenció en matemática y en ingeniería eléctrica. En la universidad conoció la lógica de Boole.

Encontró su primer trabajo en el departamento de ingeniería eléctrica del MIT, como ayudante de Vannevar Bush en su famoso analizador diferencial. Bush fue uno de los cerebros que pusieron la ciencia al servicio de la logística de guerra a principios de los cuarenta. El analizador diferencial electromecánico era en aquel tiempo el computador analógico más avanzado, capaz de resolver numéricamente ecuaciones diferenciales. Un circuito complejo de un centenar de relés controlaba el analizador. Shannon pasó el verano de 1937 en los Laboratorios Bell. Fue por entonces cuando tuvo la feliz idea de maridar el álgebra de Boole con los

circuitos eléctricos de conmutación. Y así pergeñó la tesis del máster en el MIT: «A symbolic analysis of relay and switching circuits», que se publicó en 1938 en las *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. Suele repetirse que aquella fue la tesis más importante de cuantas se han escrito en su género. Shannon recibió en 1940 el premio que las sociedades estadounidenses de ingeniería concedían al mejor trabajo sobre ingeniería publicado por jóvenes de menos de 30 años.

Defendida la tesis, Shannon se trasladó del departamento de ingeniería al de matemática en el MIT. Bush quería que el genio matemático mostrado por Shannon se aplicara a la genética. Y así Shannon pasó el verano de 1939 en Cold Spring Harbor, trabajando con Barbara Stoddard Burks. Ese trabajo le sirvió para elaborar su tesis de doctorado, *An algebra for theoretical genetics*. «Mi teoría —resume— se refiere a lo que sucede cuando tenemos todos los datos genéticos. Podríamos calcular el tipo de población que tendríamos después de un número determinado de generaciones.»

Shannon residió luego un año en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, donde trabajó con Hermann Weyl. Allí coincidió con John von Neumann y Albert Einstein. Y volvió a los Laboratorios Bell, donde pasó quince años de extraordinaria fecundidad, incluida la redacción de su texto principal, definido

por *Scientific American* como la «carta magna de la edad de la información»: *A mathematical theory of communication*. Trabajó en defensa antiaérea y en criptografía, entrando en contacto con Alan Turing. Escribió un informe secreto, *A mathematical theory of cryptography*, desclasificado en 1949.

A mathematical theory of communication sacudió el mundo de la ingeniería. Escrito con claridad y libertad, muy alejado de la acostumbrada complejidad matemática, ahondaba en las nuevas interpretaciones de la entropía como información; ampliaba su rango de aplicación a la psicología, la lingüística, la música, la cartografía y la teoría de juegos. El punto central de esta tesis de 1948 era estudiar los límites teóricos de la transmisión de la información del punto A (fuente) al punto B (receptor) a través de un medio (canal). Se supone que la información es codificada antes de cursar a través del canal. Shannon considera dos tipos de canales: uno continuo y otro discreto. Propio del primer tipo sería transportar una señal continua (la voz humana); específico del segundo sería vehicular la salida de un tablero de ordenador en forma de una corriente digital de bits. Hasta tal punto caló la tesis de Shannon que en 1953 el Instituto de Radioingenieros creó un grupo profesional sobre teoría de la información con su propia revista, la *IRE Transactions on Information Theory*. El alzhéimer, que acabó

con su vida en 2001, le impidió conocer uno de los frutos culminantes de su labor, la creación de la Red.

Para comprender la esencia de lo que Boole realizó sobre lógica algebraica, conviene recurrir al lenguaje de la teoría de conjuntos, el concepto de universo y los operadores que intervienen en dicho universo; las conectivas (así la intersección y la conjunción) y el cálculo de proposiciones con sus tablas de verdad. Por su parte, la circuitería digital actual se construye con una técnica electrónica que los ingenieros de teléfonos de los años treinta y los ingenieros pioneros de proyectos de computadores de los años cuarenta hubieran creído cosa de magia. La primera tecnología digital tomó la forma de relés electromagnéticos en las conmutaciones telefónicas. Vino luego la circuitería digital del tubo de vacío; llegaron después los transistores discretos, más tarde los circuitos integrados de transistores, después los DTL, TTL, ECL, CMOS, I²L. Lo único que persiste es el fundamento matemático, el álgebra booleana. La instalación de los conmutadores en serie o en paralelo nos permite construir circuitos eléctricos lógicos *and* y circuitos eléctricos lógicos *inclusive-or*, respectivamente; el uso inteligente de contactos de conmutación nos permite crear la operación lógica *not*. Hoy, por supuesto, las puertas lógicas son de naturaleza electrónica.

—Luis Alonso

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

OFERTA DE SUSCRIPCIÓN

Reciba puntual y cómodamente los ejemplares en su domicilio

Suscríbase a *Investigación y Ciencia*...

- ▶ por **1 año** y consiga un **17% de descuento** sobre el precio de portada (**65 €** en lugar de 78 €)
- ▶ por **2 años** y obtenga un **23% de descuento** sobre el precio de portada (**120 €** en lugar de 156 €)
- ▶ **REGALO** de 2 ejemplares de la colección TEMAS a elegir.*

Y además podrá acceder de forma gratuita a la versión digital de los números correspondientes a su período de suscripción.

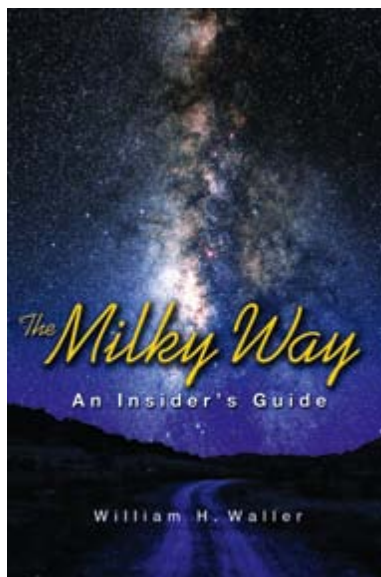


Puede suscribirse mediante:

www.investigacionyciencia.es ◀

Teléfono: 934 143 344 ◀

* Consulte el catálogo. Precios para España.



THE MILKY WAY. AN INSIDER'S GUIDE

Por William H. Waller. Princeton University Press; Princeton, 2013.

Astronomía

La Vía Láctea

Una más entre los millones incontables de galaxias que pueblan el cosmos, esta guía pormenorizada de la Vía Láctea sistematiza cuanto hoy sabemos sobre su estructura, génesis y evolución. De tipo espiral, debe su nombre a la apariencia blanquecina y lechosa de una banda de luz que cruza el firmamento, creada por innumerables estrellas que ocupan el disco galáctico. Waller describe cómo se solidificó la Vía Láctea a partir de bolsas de gas y materia oscura para generar una estructura estelar en rotación con múltiples sistemas planetarios, algunos de los cuales pueden albergar miríadas de formas de vida y, tal vez, especies que han desarrollado la tecnología necesaria para la comunicación.

Los homínidos de la sabana africana disfrutaron de una visión de la Vía Láctea muy superior a la que podamos experimentar hoy. Y así sucedió durante cientos de milenios, con unos cielos secos y claros, exentos de contaminación lumínica. Los primeros registros del firmamento nocturno proceden de los monumentos megalíticos que han superado los arañazos del tiempo. Citemos el yacimiento de Newgrange (que se remonta a 3200 a.C.), el de Stonehenge (entre 3100 y 1600 a.C.) y las grandes pirámides de Egipto (entre 2500 y 1000 a.C.). La Piedra de la Rosetta contiene registros del firmamento con jeroglíficos asociados a Nut, diosa de los cielos, responsable del orto y del ocaso solar.

Una de las primeras referencias explícitas de la Vía Láctea procede de la Acrópolis de Micenas; aparece en un anillo de

oro de la edad del Bronce (1400 a.C.). En Grecia coexistieron la interpretación naturalista de Demócrito con la mitológica. De acuerdo con la mitología, su origen nos retrotrae a la diosa Hera, mujer de Zeus, cuya leche mamaria concedía la inmortalidad a quien la tomara. Hera sufría las infidelidades constantes de Zeus y los hijos ilegítimos que de ellas resultaban. Entre esos hijos adulterinos, Hermes, hijo de la ninfa Maia, y Heracles, hijo de la mortal Alcmena. Mientras Hera dormía, Hermes puso al semimortal Heracles a los pechos de la diosa, con la intención de obtener la inmortalidad para el niño. Al despertarse, Hera le retiró bruscamente el pecho y se derramó la leche por el firmamento, formándose así la Vía Láctea.

El estudio científico de la galaxia se asentó en Occidente con la invención del telescopio óptico. A Hans Lippershey debemos la noticia inicial, en 1608. Los prototipos constaban de dos lentes: la receptora u objetivo, de forma convexa, y la ocular, de forma cóncava. En conjunción, ambas lentes formaban imágenes de objetos que revelaban detalles hasta entonces desconocidos. Galileo Galilei se apoyó en el potencial de los nuevos telescopios para su revolución de la astronomía. Desde los cráteres de la Luna hasta las tormentas solares, o los satélites de Júpiter y las fases cíclicas de Venus, Galileo explicaba un universo que difería del ptolemaico con sus planetas en órbita alrededor de la Tierra. Cuando apuntó su telescopio hacia Orión, las Pléyades y la Vía Láctea, quedó asombrado ante la presencia de miríadas de estrellas.

Se tardaron otros 145 años antes de poderse abordar la naturaleza estelar y nebulosa de la Vía Láctea. Nicolas Louis de la Caille presentó la primera lista de «nebulosas». Sirviéndose de un pequeño telescopio de refracción, descubrió y documentó 42 de esas apariciones fugaces. Muchas de sus observaciones las realizó durante un viaje al hemisferio sur, donde recogió también datos para un catálogo de 9776 estrellas. En 1745 publicó *Sobre las estrellas nebulosas del firmamento meridional*. Isaac Newton había ideado un telescopio reflector que constaba de un espejo cóncavo de metal, instalado en la base de un tubo cilíndrico hueco. El espejo recogía la luz incidente y la reflejaba hacia otro espejo que redirigía la luz a un ocular.

William Herschel, el principal instrumentalista y observador del momento, descubrió el planeta Urano en 1781 con un telescopio reflector de cuatro pulgadas. Su telescopio de 24 pulgadas de diámetro y 20 pies de longitud resultó ser el más adecuado para observar la Vía Láctea. A lo largo de siete años descubrió y catalogó 2000 nebulosas. Con su hermana Caroline creó el primer mapa cuantitativo de los cielos. El trabajo, continuado por John, hijo de William, condujo a la creación del *New general catalogue of non-stellar objects*, texto canónico que ha perdurado hasta nuestros días. Por su parte, Charles Messier compiló en 1784 una lista de 103 objetos nebulosos.

En paralelo al trabajo observacional, los filósofos de la segunda mitad del siglo XVIII y primera de la centuria siguiente avanzaron sus propios modelos cosmológicos. Thomas Wright publicó en 1750 *An original theory, or new hypothesis of the universe*, donde proponía que la Vía Láctea formaba parte de un cosmos moral mucho mayor con una fuerza vital espiritual en el centro. Immanuel Kant rechazó en su *Historia natural universal y teoría de los cielos*, publicada en 1755, que el centro del universo tuviera carácter espiritual. El Sol y los planetas del sistema solar se originarían por condensación a partir de una fina materia primordial. Sostenía que la Vía Láctea era un disco automantenido de estrellas que compartían una rotación circular. Atribuía las nebulosas de Messier a universos isla. Simon de Laplace transformó la percepción del cosmos galáctico en una dinamo. En *El sistema del mundo* estableció la hipótesis de la nebulosa, según la cual el Sol y los planetas eran

condensación de un disco en remolino de materia nebulosa.

A mediados del siglo XIX se compilaron extensos catálogos de estrellas del hemisferio norte y del hemisferio sur. Destacaron el *Bonner Durchmusterung*, de 1861, y su complementario meridional *Cordoba Durchmusterung*, de 1892. Las observaciones del hemisferio norte y algo del sur se llevaron a cabo en el Observatorio de Bonn entre los años 1852 y 1859, recogiendo una cosecha de 320.000 estrellas por debajo de la décima magnitud (donde las estrellas más brillantes son de primera magnitud, las estrellas visibles más débiles a simple vista son de magnitud seis y las estrellas de décima magnitud son otras cuarenta veces más tenues). En el hemisferio sur se registraron las posiciones y las magnitudes visuales de 580.000 estrellas por astrónomos del Observatorio Nacional de Córdoba (Argentina).

Por entonces también, los científicos comenzaron a dirigir sus espectroscopios hacia las estrellas. William Huggins y William Allen Miller observaron los espectros de Rigel, Betelgeuse y Vega. Descubrieron que diferían enormemente en sus pautas espectrales. Observaron que la nebulosa de Orión presentaba líneas espectrales en emisión, no en absorción. Quedaba claro que esta nebulosa y otras estructuras similares eran nubes genuinas de gas luminoso, no cúmulos irresueltos de estrellas. Con estos trabajos pioneros nació la ciencia moderna de la astrofísica observacional. Al propio tiempo, despegaba la técnica química de la fotografía. El observatorio de Harvard acometió una inspección fotográfica del cielo. Se consiguieron 225.000 espectros estelares. En esa labor catalogadora destacaron las mujeres: Annie Jump Cannon, Williamina Fleming y Antonia de P. P. Maury. También estaba Henrietta Leavitt, que se integró en el *Plan of Selected Areas*, de Jacobus Kapteyn. El trabajo de Leavitt sobre estrellas variables le dio fama entre los grandes astrónomos del siglo XX. Identificó más de 1700 estrellas variables; las más brillantes de ellas eran las Cefeidas.

En su tesis doctoral, presentada en 1925, Cecilia Payne ponía de relieve las diferencias en los tipos espectrales para trazar la temperatura en superficie de las estrellas, en vez de apoyarse en su composición química. Las estrellas constaban sobre todo de hidrógeno (un 75 por ciento de su masa) con algo de helio

(23 por ciento) y un residuo de otros elementos que se hacen manifiestos en los espectros. En menos de 40 años, los estudios espectroscópicos permitieron comprender las series estelares en términos de temperatura, luminosidad y composición química. La piedra de la Rosetta de ese desciframiento estelar fue el diagrama Hertzsprung-Russell [véase «La tabla periódica de las estrellas», por Ken Crowell; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2011]. Relacionando la temperatura de la estrella con su luminosidad global, Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell hallaron familias entre las estrellas. La mayoría de estas caen a lo largo de la secuencia principal, donde se inscriben el Sol, Vega, Sirius y Rigel.

En ese primer tercio de siglo, los estudios espectroscópicos le permitieron a Edwin Hubble discriminar entre objetos realmente nebulosos de la Vía Láctea y los conjuntos estelares que él sospechaba se encontraban mucho más lejos. Encontró 35 cefeidas en Messier 33 y 11 en NGC 6822. Las distancias y tamaños correspondientes de esos sistemas le mostraban que constituían otras Vías Lácteas, a las que Harlow Shapely llamó más tarde «galaxias».

Los astrónomos han conjuntado las observaciones realizadas en ambos hemisferios y han creado mapas completos de la Vía Láctea. Se establece un sistema natural de coordenadas galácticas cuya longitud se mide a lo largo del ecuador y cuya latitud corre perpendicular al ecuador, positivamente hacia el polo norte galáctico y negativamente hacia el polo sur galáctico. El punto cero para el sistema de coordenadas galácticas se encuentra en la constelación de Sagitario. Su posición exacta ha ido cambiando con los años, a medida que los astrónomos han ido conociendo mejor el verdadero centro galáctico y su precisa ubicación en el firmamento.

El disco estelar, sutil y ligeramente circular, se ofrece a nuestra observación como una banda que cruza el cielo nocturno. Las bolsas oscuras de esa trayectoria corresponden a concentraciones de polvo y gas. El disco estelar se desdobra en un disco fino, o delgado, y otro grueso. El fino, de unos 500 parsec de altura, aloja el 95 por ciento de las estrellas y todas las estrellas jóvenes, masivas; se halla englobado en un disco más grueso, de unos 1500 parsec de altura. Las estrellas del disco grueso son más antiguas que las estrellas del disco fino y más pobres

en elementos pesados. Las estrellas del disco giran en órbita cuasi-circular, a una velocidad de 200 kilómetros por segundo. La luminosidad del disco es de unas $15 - 20 \times 10^9$ luminosidades solares. La masa de las estrellas, de unas 6×10^{10} masas solares.

Incluidos dentro del disco estelar se hallan los brazos espirales, resultado de patrones espirales de ondas de densidad. Varias son las pruebas observacionales que avalan este modelo de densidad de onda: las estrellas de gran masa, de vida corta, se aprecian sobre todo en los brazos espirales; las de masa media, de una longitud de vida moderadamente larga, aparecen detrás de los mismos; las poco masivas (como el Sol) viven mucho y se perciben por todo el disco. El gas y el polvo se concentran en una capa más fina que la estelar. El disco de gas se vacía hacia el centro de la galaxia.

El bulbo y los discos de la galaxia se hallan incluidos en un halo toscamente esférico, que da cobijo a viejas poblaciones estelares y cúmulos globulares. Constituidos en los inicios de la historia de la galaxia, estos cúmulos son sistemas estelares compactos que contienen unos 10^5 estrellas. Las estimaciones recientes de los más antiguos ofrecen edades de unos 12.000 millones de años; ofrecen, pues, un límite inferior a la edad del universo. Ni las estrellas ni los cúmulos globulares del halo presentan ninguna rotación sistémica en torno al centro; desarrollan frecuentes órbitas excéntricas. El halo aporta solo una pequeña fracción a la luminosidad y masa de la galaxia, aunque la masa total de esta sea, en parte notabilísima (más del 85 por ciento), materia oscura del halo.

Aunque no se han encontrado pruebas sólidas de la existencia de vida fuera de la Tierra, sabemos que se requiere una galaxia para propiciar las condiciones exigidas en la emergencia de una vida compleja. En órbita en torno a una estrella irrelevante, nuestro planeta y el resto del sistema solar se forjaron después de que una larga evolución química hubiera procedido en la Vía Láctea para producir una estructura rocosa con un núcleo magnético de hierro, un océano de agua y una atmósfera de nitrógeno, carbono y oxígeno. La Tierra debe su linaje químico a miles de generaciones de estrellas masivas que vivieron y expiraron mucho antes del nacimiento del sistema solar, hace unos 4600 millones de años.

—Luis Alonso