

**THE CELL**  
**A VISUAL TOUR OF THE BUILDING BLOCK**  
**OF LIFE**

Jack Challonier  
 University of Chicago Press, 2015

**Célula**

*Unidad básica de la vida*

Los avances en técnicas de formación de imágenes registrados en los últimos quince años han revolucionado el campo de la biología celular. La microscopía de fluorescencia de superresolución nos permite observar la dinámica molecular y organular de la célula *in vivo* con una elevada resolución temporal y espacial. Gracias a la microscopía de fluorescencia sabemos que la actina propicia el desarrollo y la migración celular. Con esa herramienta, podemos abordar el estudio de los procesos con un detalle y una precisión sin precedentes. En el camino, este desarrollo ha dejado en evidencia el dogma de la biología molecular: que el ADN se transcribe en ARN que se traduce en proteína. De hecho, el conocimiento de la célula ha ido siempre de la mano de la técnica, de la microscopía, como recoge Challonier en este espléndido álbum de fotografías y diagramas espectaculares, con un texto nítido y completo y con recuadros que son compendios de la situación actual de nuestro conocimiento sobre la célula y su profunda transformación desde hace un par de décadas.

La teoría celular dotó de sentido al mundo de la vida, su desarrollo, reproducción y herencia. Pero la mayoría de las células son demasiado pequeñas para poder observarlas a simple vista; las más pequeñas, los micoplasmas, apenas miden una milésima de milímetro (una micra) de diámetro; la mayoría abarcan de 5 a 10 micras de diámetro. La microscopía óptica empezó en el siglo XVII con una sencilla disposición de lentes de aumento. El microscopista más influyente de ese momento fue Robert Hooke, encargado de realizar los experimentos en la Real Sociedad de Londres. En su *Micrographia*, publicada en 1665, aparecen dibujos puntillados de estructuras hasta entonces desconocidas. Llamó «células» a unos espacios cerrados por paredes de células vacías, muertas.

Con su microscopio de una sola lente, Antoni van Leeuwenhoek observó protozoos, algas unicelulares y bacterias.

En los años veinte del siglo XIX, Henri Dutrochet hirvió tejido vegetal en ácido nítrico para disolver el material que mantenía unida la célula: las células se separaban en numerosos glóbulos autocontenidos, idea confirmada en 1830 por Franz Meyer. En 1831, Robert Brown llamó «núcleo» a la mancha negra que aparecía en las células vegetales. Por su lado, Mathias Schleiden sugirió que los núcleos constituían la fuente de la que brotaban nuevas células. En 1839, Theodor Schwann establecía la primera teoría celular, basada en tres principios: toda parte de todo ser vivo consta de células, la vida de un organismo se debe a sus células vivas, y cada célula nace en otra célula. Este último principio quedó descartado muy pronto cuando se observó la fisión binaria o división en dos hijas.

Se disipó toda duda remanente sobre la presencia ineludible del núcleo cuando Joseph Jackson Lister introdujo, en esos años treinta del siglo XIX, lentes que corregían la aberración esférica (distorsión de la imagen) y la aberración cromática (enojadas líneas coloreadas en torno a la imagen). Cuarenta años más tarde, Ernst Abbe llevó el microscopio óptico hasta el límite de sus posibilidades sumergiendo lentes en aceite para maximizar aumentos, resolución, brillo y contraste. Entre uno y otro momento se registró un avance importante en la técnica de la tinción de los cortes histológicos: el uso de colorantes que eran absorbidos solo por determinadas estructuras de la célula, que de ese modo quedaban resaltadas. En 1858, Joseph von Gerlach advirtió que el pigmento carmín (cochinilla) era absorbido por el núcleo, pero no por el resto de la célula. La introducción de nuevos pigmentos sintéticos en el decenio siguiente expandió

la técnica y propició el descubrimiento de otros orgánulos.

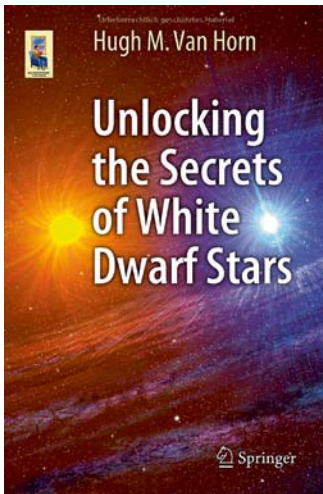
Así, Julius von Sachs descubrió los cloroplastos (una estructura esencial en la fotosíntesis) en esos años sesenta. En los noventa se identificaron las mitocondrias; el aparato de Golgi en 1897; en 1902, el retículo endoplasmático. Santiago Ramón y Cajal observó la delicada arborización de las dendritas. Pero ya en 1855, Rudolf Virchow realizó sus propias observaciones y publicó la teoría celular moderna *omnis cellula e cellula* (toda célula procede de otra célula).

Pese a la mejora de la técnica microscópica, ciertas características de la célula resultaban opacas a la observación óptica. En 1931, Ernst Ruska y Max Knoll inventaron un nuevo tipo de microscopio que empleaba electrones para producir imágenes. Muy pronto, la microscopía electrónica resolvía objetos de 10 nanómetros de diámetro; a mediados de los cuarenta se resolvían ya los de 2 nanómetros. Uno de los primeros triunfos del nuevo útil fue el descubrimiento de los ribosomas, las máquinas moleculares de síntesis de proteínas. En 1959, la microscopía electrónica reveló la ramificación de las espinas de las dendritas; Edward George Gray estableció que las conexiones entre neuronas (sinapsis) acontecían en esos sitios.

La teoría celular establece que todos los seres vivos constan de células, unidades básicas de la vida. Declara también que las células proceden de otras células. Distingue entre células procariotas (bacterias y arqueobacterias), que carecen de membrana nuclear, y células eucariotas, con núcleo y orgánulos encerrados dentro de membranas. Todas las especies del dominio de las eucariotas (protistas, hongos, plantas y animales) poseen células eucariotas. Los organismos complejos, como los humanos, poseen células especiales para funciones especiales, como el transporte de oxígeno por el cuerpo, la digestión de los alimentos o la síntesis de huesos. En sus 3500 millones de años de existencia sobre el planeta, la célula ha demostrado ser una central energética que ha difundido la vida primero en el mar y luego en tierra firme para desarrollar la rica y compleja diversidad biológica que contemplamos.

La técnica que sirvió para su gradual descubrimiento se encamina ahora hacia su manipulación y creación *ex novo*. Lógicamente, del futuro no hay fotografías. Ni apenas texto.

—Luis Alonso



## UNLOCKING THE SECRETS OF WHITE DWARF STARS

Hugh Van Horn  
Springer International Publishing, 2015

### Estrellas enanas blancas

*Punto de apoyo del progreso en cosmología*

En 2011, Saul Perlmutter, Adam Riess y Brian P. Schmidt recibieron el premio Nobel de física por su demostración de la aceleración de la expansión del universo: contra todo pronóstico, pues los astrofísicos suponían que la expansión se deceleraría de forma paulatina [véase «El rompecabezas de la energía oscura», por Adam Riess y Mario Livio; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2016]. Ese fue uno de los numerosos avances cosmológicos propiciados directa o indirectamente por el estudio de las estrellas enanas blancas.

Las estrellas con una masa inicial menor de diez masas solares, las cuales integran el 90 por ciento de todas las estrellas, van perdiendo masa en el curso de su evolución hasta terminar por convertirse en enanas blancas. De ese modo, ofrecen un registro fósil de la formación de estrellas en la galaxia. Las enanas blancas, cuya masa se equipara a la solar, aunque confinada en un volumen del tamaño de la Tierra, son, efectivamente, el punto final de la evolución de la mayoría de las estrellas. Se trata, pues, de remanentes de estrellas que han agotado su combustible nuclear. Con las enanas rojas, predominan en el universo. Se han descubierto miles de esos objetos de brillo débil. Poderosas herramientas para comprender el universo, constan principalmente de carbono y oxígeno. Sin embargo, sus núcleos estelares se encuentran demasiado fríos para soportar reacciones termonucleares.

Si la enana blanca es miembro de un sistema binario, puede acrecer, aumentar su masa con materia procedente de su compañera. A medida que la enana blanca gana masa y se aproxima al límite de Chandrasekhar, unas 1,4 masas solares, su radio decrece y se incrementa su densidad central. Los núcleos de carbono y oxígeno

se ven obligados entonces a moverse cada vez más juntos. Llega un momento en que los núcleos se acercan tanto que se producen reacciones piconucleares: se desarrollan reacciones del tipo  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{24}\text{Mg}$ ,  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{28}\text{Si}$  y  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{32}\text{S}$ , liberándose energía en el proceso. La emergencia de estas reacciones señala el principio del fin de una enana blanca.

La existencia de estas estrellas desconcertó en un comienzo a los astrónomos. Para levantar el velo de misterio que las celaba, hubo que esperar a avances revolucionarios en ciencia y técnica, incluidos el desarrollo de la física cuántica, la construcción y utilización de grandes telescopios, la invención del ordenador digital y la capacidad de realizar observaciones astronómicas desde el espacio. De ello da cuenta pormenorizada Hugh Van Horn, uno de los astrofísicos que participaron directamente en el desciframiento de los secretos de las estrellas enanas blancas, a las que ha consagrado cincuenta años de investigación. Suyas son, entre otras, la demostración de que cristalizan a temperaturas a las que todavía pueden observarse y la teoría de las enanas blancas pulsantes.

Debemos a Friedrich Wilhelm Bessel la primera clave que señalaba la existencia de una nueva clase de estrellas, hoy conocidas como enanas blancas. Pero ni él ni nadie en aquellos comienzos del siglo XIX se imaginaba los portentosos avances que habrían de requerirse para llegar a entender su naturaleza. Los astrónomos no sabían apenas nada de la estructura estelar. Procedían por comparación de sus propias mediciones de las posiciones de las estrellas en el firmamento con las determinaciones realizadas por Ptolomeo en Egipto, unos 2000 años antes. Dedujeron

que algunas de las supuestas estrellas fijas se movían por el cielo, pero ignoraban a qué distancia se encontraban o cuán grandes eran, cuál era su constitución o cuánta energía radiaban. En ese tiempo, los astrónomos confiaban todas sus observaciones al ojo aplicado al telescopio; no se había inventado la fotografía.

En 1820, Bessel instaló un círculo meridiano en el observatorio de Königsberg. El ingenio consistía en un círculo graduado fijado perpendicularmente al eje horizontal de un instrumento usado para observar el tránsito de estrellas a través del meridiano. El mecanismo permitía observaciones simultáneas de la ascensión recta y de la declinación de las estrellas (en esencia, longitud y latitud, respectivamente), con menos errores y más fácilmente detectables que con la aplicación de métodos precedentes. Bessel se proponía obtener posiciones precisas de miles de estrellas y construir así un marco de referencia para las coordenadas celestes de todas las estrellas. Mediante la medición de la paralaje, y conocida la distancia de la Tierra al Sol (una unidad astronómica), se podían determinar por triangulación las distancias hasta las estrellas más cercanas. Las mediciones realizadas en 1840 por Bessel de la estrella 61 Cygni revelaron una paralaje de 0,348 segundos de arco con un error medio de 0,14 segundos, por lo que se cifró la distancia a esa estrella en 590.000 unidades astronómicas, es decir, 2,9 pársecs. Bessel, que era matemático también, inventó una nueva clase de funciones (las funciones de Bessel), para resolver un problema de los movimientos planetarios.

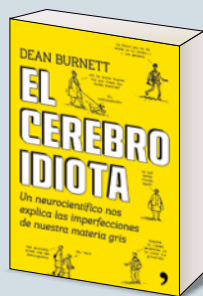
Las mediciones precisas, tomadas por Bessel en 1844, de las posiciones habían mostrado que las estrellas brillantes Sirius y Procyon exhibían irregularidades en su movimiento a través del firmamento. En vez de observar un movimiento constante, como cabría esperar de una estrella solitaria, cada estrella oscilaba en una trayectoria rectilínea. El 10 de agosto de ese año, Bessel envió a John Herschel las características de su descubrimiento. Herschel no tardó en publicarlas en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. «Si tuviéramos que considerar a Sirius y Procyon estrellas dobles», escribía Bessel, «no constituirían ninguna sorpresa esos cambios en sus movimientos». Ahora bien, si esa fuera la explicación correcta, ¿por qué no se veían las estrellas compañeras, como era el caso en otros sistemas de estrellas binarias? Fue la primera alu-

## NOVEDADES



### **BACTERIAS, BICHOS Y OTROS AMIGOS** DESCUBRE A NUESTROS ALIADOS MICROSCÓPICOS

David G. Jara  
Ariel, 2016  
ISBN: 978-84-344-2319-0  
296 págs. (18,90 €)



### **EL CEREBRO IDIOTA** UN NEUROCIENTÍFICO NOS EXPLICA LAS IMPERFECCIONES DE NUESTRA MATERIA GRIS

Dean Burnett  
Temas de Hoy, 2016  
ISBN: 978-84-9998-540-4  
408 págs. (19,90 €)



### **EL MUNDO COMO OBRA DE ARTE** EN BUSCA DEL DISEÑO PROFUNDO DE LA NATURALEZA

Frank Wilczek  
Crítica, 2016  
ISBN: 978-84-9892-961-4  
520 págs. (28,90 €)

sión a la existencia de una clase novedosa de estrellas.

Por el tiempo en que Bessel anunciaba su descubrimiento de una estrella, no observada, compañera de Sirius, Alvan Clark iniciaba su carrera de óptico, consagrándose a la creación de telescopios de refracción, que usan lentes en lugar de espejos. Clark observó en 1862 la estrella débil que había previsto Bessel. A la estrella primaria se le dio el nombre de Sirius A, y a la más tenue, el de Sirius B. A finales del siglo XIX se conocían ya con bastante precisión las órbitas y las masas de ambas. Resultaba todavía un tanto desconcertante la escasa luminosidad de Sirius B, pero como se desconocía su temperatura, se creía que la razón estaría en su baja temperatura. (Cuando se propusieron, a comienzos del siglo XX, las primeras estimaciones de la temperatura de Sirius B, la astronomía sufrió una fuerte sacudida.)

A finales del siglo XIX, en el Observatorio de la Universidad de Cambridge, Williamina P. Fleming recibió el encargo de ocuparse de la búsqueda exhaustiva y clasificación de cientos de miles de imágenes débiles de espectros estelares. Fleming descubriría la misteriosa naturaleza de Sirius B. En cierto sentido, parte de esta historia se remonta a Isaac Newton, quien, en el marco de sus experimentos en óptica, dirigió un haz de luz solar a través de un prisma y descubrió que se descomponía en todos los colores del espectro. «La luz», escribió, «es una mezcla heterogénea de rayos que se refractan de manera distinta». Siglo y medio más tarde, Joseph Fraunhofer acometió el estudio de la refracción de la luz de diferentes colores mediante diversos tipos de cristal. En el proceso, descubrió que el espectro de la luz solar estaba cruzado por líneas negras muy finas. (Esas estrías oscuras, o líneas de Fraunhofer, se producen siempre a la misma longitud de onda en el espectro.) Entre 1859 y 1862, Gustav Kirchhoff estableció tres importantes leyes de radiación que aportaban un fundamento sólido a las observaciones de Fraunhofer: 1) un sólido caliente y resplandeciente o un gas denso emiten un espectro continuo de radiación, sin líneas claras ni oscuras; 2) un gas caliente y difuso, como una llama, produce un espectro que consta de líneas brillantes; 3) cuando observamos un espectro continuo a través de un gas frío, presenta líneas oscuras a una longitud de onda característica de los elementos químicos del gas interpuesto. Las leyes de

Kirchhoff permitieron a los astrónomos determinar la composición química de una estrella lejana [véanse «Los orígenes de la espectroscopía» I y II, por Dietrich Lemke; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero y febrero de 2016].

Kirchhoff midió la longitud de onda de miles de líneas de Fraunhofer y mostró que coincidían con las líneas emitidas por los elementos químicos hidrógeno, hierro, sodio, magnesio, calcio, etcétera, por lo que concluyó que esos mismos elementos se daban en el Sol. Una rotunda verificación del método de Kirchhoff de análisis espectral fue la detección, en 1868, de líneas en el espectro solar de un elemento entonces desconocido, el helio, antes de su descubrimiento en la Tierra. Kirchhoff mostró que el espectro de la radiación térmica, denominada también radiación de cuerpo negro, dependía solo de la temperatura de la materia y no de ninguna de sus propiedades restantes. A partir de la medición de un amplio abanico de temperaturas, Josef Stefan descubrió en 1879 que la densidad total de energía de esa radiación térmica, sumando todas las longitudes de onda, variaba como la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Por tanto, la duplicación de la temperatura de una fuente de radiación incrementaba la densidad de energía en un factor de 16. En 1884, Ludwig Boltzmann aportó una fundamentación teórica rigurosa para ese comportamiento, hoy conocido como ley de Stefan-Boltzmann.

Confirmado el valor del análisis espectral, los astrónomos comenzaron a incorporar espectroscopios a sus telescopios para analizar espectros de las estrellas más brillantes. Esta tarea se vio muy aliviada con la aplicación de la técnica fotográfica a la astronomía desde mediados del siglo XIX, especialmente tras la introducción de placas fotográficas sensibles de gelatina de bromuro de plata en 1871. En 1890 se publicó el primer *Henry Draper Catalogue*, que recogía clasificaciones espectrales de 10.000 estrellas. En 1896, Annie Jump Cannon, del Observatorio de Harvard, recibió el encargo de examinar algunos espectros peculiares de esa cartografía general de Draper.

Tras sucesivos avances en el desarrollo de un sistema riguroso de clasificación espectral, los astrónomos reconocieron en 1910 que las enanas blancas eran una nueva clase de estrellas completamente diferente. Tuvo mucho que ver en ello el descubrimiento de 40 Eridani B, estrella



de décima magnitud en la constelación de Eridanus. Con su primaria, 40 Eridani A, estrella de cuarta magnitud, forma una binaria con un período de 200 años. En 1915, Ejnar Hertzsprung confirmó que Eridani B estaba suficientemente caliente para mostrar líneas de hidrógeno en su espectro. Ese mismo año de 1915, Walter S. Adams registró el espectro de Sirius B: toda una hazaña, pues Sirius A brilla muchísimo más que Sirius B y ambas se encuentran muy próximas. Cuando Adams reveló la fotografía, halló que el espectro de Sirius B solo contenía líneas de hidrógeno. Puesto que Sirius A contenía también líneas de hidrógeno, llegó a la conclusión de que ambas estrellas tenían la misma temperatura. Eridani B, Sirius A y Sirius B avalaban la existencia de una nueva clase de objetos. Debido al color blanco y a la tenuidad de su brillo (y, por consiguiente, su escaso tamaño) se les dio el nombre de enanas blancas.

Henrietta Leavitt demostró, hace más de un siglo, que existía una relación directa entre el período de oscilación y la luminosidad intrínseca de ciertas estrellas. Cuanto más largo el período, más brilla. De ese criterio se valieron de inmediato

los astrónomos para considerar «candelas patrón» a las cefeidas variables y así determinar distancias precisas de objetos remotos. Las cefeidas son estrellas muy brillantes, miles de veces más brillantes que el Sol.

¿Qué es lo que Perlmutter y sus colegas aprendieron gracias a las enanas blancas? Las enanas blancas que forman parte de un sistema binario y acretan materia de su compañera pueden acabar explotando en forma de supernovas de tipo Ia. Hacia finales del siglo xx, tras una década de trabajo, el Proyecto Cosmológico de Supernovas encontró decenas de supernovas de esta clase con un corrimiento hacia el rojo de entre 0,2 y 0,9. Se descubrieron todas en el Observatorio Internacional de Cerro Tololo, en Chile. Las supernovas con mayores desplazamientos al rojo se encontraban más alejadas de lo esperado, lo que permitió inferir que la aceleración del universo se estaba acelerando. Ese resultado condujo a una conclusión: solo el 28 por ciento de la densidad total de masa-energía del universo consta de materia ordinaria más materia oscura. Es decir, la mayor parte de la masa-energía del universo consta de una suerte de misteriosa

«energía oscura», la cual suele asociarse a la constante cosmológica. En 1915, Einstein publicó su teoría general de la relatividad. Por aquel entonces, los astrónomos creían en un universo estático e inmutable, por lo que Einstein añadió un término a sus ecuaciones —la constante cosmológica— que permitía soluciones estáticas.

Los modelos cosmológicos basados en la teoría general de la relatividad que incluían solo radiación y materia ordinaria se encontraron con dificultades a la hora de explicar la formación de galaxias. Unos problemas que se aligeraron con la introducción de la materia oscura, que daría cuenta de la mayor parte de la materia existente en el universo. Inferida en las mediciones astronómicas de los años treinta, la primera prueba convincente de su existencia no llegó hasta los años setenta, cuando Vera Rubin y Kent Ford demostraron que los movimientos orbitales de las estrellas en torno a los centros de las galaxias requerían la presencia de una masa mucho mayor que la suministrada por la materia visible de la galaxia (estrellas, gas y polvo).

—Luis Alonso

## SUSCRÍBETE a Investigación y Ciencia...



### Ventajas para los suscriptores:

- **Envío** puntual a domicilio
- **Ahorro** sobre el precio de portada  
75 € por un año (12 ejemplares)  
140 € por dos años (24 ejemplares)
- **Acceso gratuito** a la edición digital (artículos en pdf)



... y recibe **GRATIS 2 números** de la colección **TEMAS** a elegir

[www.investigacionyciencia.es/suscripciones](http://www.investigacionyciencia.es/suscripciones) Teléfono +34 934 143 344