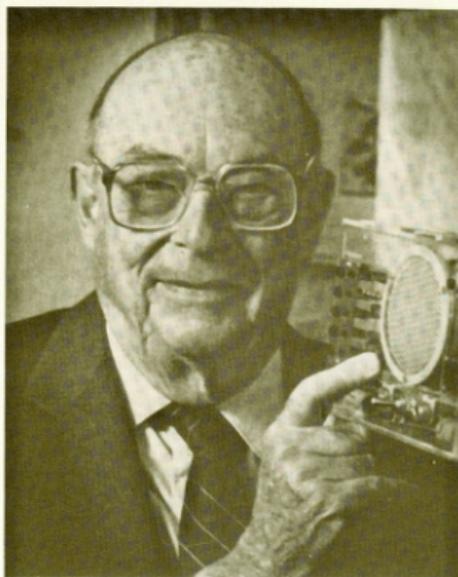


JOHN BARDEEN: EL DESCUBRIMIENTO DEL TRANSISTOR

Por José Luis Vicent

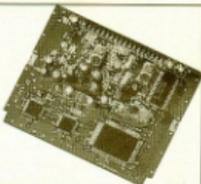
HACE aproximadamente un año, en concreto el 30 de enero de 1991, moría John Bardeen. En un año lleno de acontecimientos de primer orden no resulta sorprendente que en los resúmenes de fin de año no se diera referencia alguna de su desaparición. Ahora bien, no cabe la menor duda de que el trabajo de Bardeen influyó de una manera decisiva incluso haciéndolas posibles, sobre muchas de las noticias que hicieron de 1991 un año crucial. Aunque tal vez decir esto sea empequeñecer el impacto del trabajo de Bardeen en el mundo actual. John Bardeen, junto con Walter Brattain, el día 23 de diciembre de 1947, muestran en los laboratorios de la Bell Telephone (New York) de la entonces ITT, la existencia de un dispositivo al que bautizan con el nombre de *transistor*.

Resulta difícil imaginar la vida actual si prescindieramos por un momento, de la existencia de los transistores y de todos los dispositivos electrónicos a los que han dado lugar. Cualquiera aparato que lleva la palabra electrónico está basado en ese experimento realizado a mediados de siglo en los laboratorios Bell. Sin transistores no existiría el ordenador con el que se está



John Bardeen,
dos veces premio Nobel.

escribiendo este artículo, ni las calculadoras de bolsillo, aparatos de TV, ni un sin fin de instrumentos que han posibilitado la verdadera revolución de este siglo. Cuando un ciudadano de Zambia, por poner un ejemplo, enciende su transistor y escucha lo que está sucediendo en Moscú está, sin



saberlo, haciendo un homenaje a Bardeen.

Aparte de este homenaje que hacemos todos inconscientemente a Bardeen, cada vez que a lo largo de un día utilizamos el resultado de su genial descubrimiento, quisiera en estas breves líneas ofrecer agradecimiento público a uno de los personajes más desconocidos, pero que, al mismo tiempo, ha tenido una influencia más notable en la historia de la última parte de este siglo. John Bardeen reúne en su persona unas condiciones singulares; por ejemplo, es la única persona que ha recibido dos veces el premio Nobel de Física y solo, con una breve reseña biográfica, se puede dar cuenta el lector de que se encuentra frente a una personalidad única, que reúne unas características de inquietud, imaginación, curiosidad hacia los fenómenos de la naturaleza, versatilidad, capacidad de dirección y capacidad de trabajo difíciles de igualar.

Comenzaremos nuestra referencia a Bardeen con unas notas biográficas por orden cronológico, para después añadir algunos comentarios que pueden ayudar a resaltar el ambiente que propició el descubrimiento del transistor y su trabajo posterior, dejando a un lado cualquier alusión a

Resulta difícil imaginar la vida actual si prescindieramos, por un momento, de la existencia de los transistores y de todos los dispositivos electrónicos a los que han dado lugar



temas exclusivamente científicos, que, sin duda, están fuera de lugar en este artículo.

Nota biográfica

Podemos resumir los datos de la biografía de Bardeen en dos partes, una primera etapa de formación y una segunda etapa de investigación y docencia.

Empezando por su años de formación, se puede señalar como rasgos más destacados que John Bardeen, nacido en Madison (Wisconsin) el 23 de mayo de 1908, curiosamente —para las costumbres americanas— estudió la carrera universitaria en la misma ciudad donde nació. Cursó ingeniería eléctrica en la Universidad pública de Wisconsin, en Madison. Wisconsin es un Estado fronterizo, al norte de Illinois (Chicago). En 1929 termina su *master* y no parece sentir una vocación decidida hacia la enseñanza o investigación básica, porque no intenta hacer

una tesis doctoral y entre 1930 y 1933 trabaja en geofísica en la compañía petrolera Gulf (Pittsburgh). En 1933 cambia totalmente la orientación de su vida e inicia su tesis en Física Matemática, en una de las universidades privadas más prestigiosas de Estados Unidos, en Princeton (New Jersey), donde en 1936 se doctora en Física, teniendo como director de tesis a P. Wigner, uno de los pioneros de la Física teórica del Estado Sólido. Seguidamente, completa su formación en otra Universidad de primerísima fila, Harvard, donde permanece como becario desde 1936 hasta el 38, trabajando con el premio Nobel y físico teórico de Estado Sólido van Vleck y con el premio Nobel y físico experimental de Estado Sólido Brigman.

Su segunda etapa, como docente e investigador, comienza en 1938, de una forma tan poco espectacular como la anterior. Desde 1938 hasta 1941 enseña como profesor asistente en la Universidad de Minneso-

ta. Durante la Segunda Guerra Mundial (1941-45) trabaja en los laboratorios de investigación de la Marina, en Washington. Al terminar la guerra se produce un hecho decisivo: en 1946 es contratado por los laboratorios de investigación de la ITT (Bell Telephone Laboratories), para formar parte del grupo de Estado Sólido que dirigía W. Shockley. A partir de ese momento se precipitan los acontecimientos. En 1947 descubre el transistor de punta de contacto, junto con W. Brattain. En 1951 acepta un puesto de profesor de Física en la Universidad de Illinois, donde permaneció hasta su jubilación. En 1956 recibe junto con Shockley y Brattain el premio Nobel de Física por el descubrimiento del transistor. En 1957 junto con sus colaboradores L. Cooper, que estaba contratado en un puesto posdoctoral y R. Schrieffer, que estaba haciendo la tesis doctoral, encuentra la teoría microscópica de uno de los fenómenos más complejos de los sólidos, el efecto superconductor. Por esta teoría de la superconductividad, conocida con las siglas BCS recibe, junto a Cooper y Schrieffer, su segundo premio Nobel en 1972. Tan sólo M. Curie había recibido con anterioridad dos premios Nobel en temas científicos, uno en Química y otro en Física; el caso de Bardeen es sin duda excepcional y difícilmente repetible.

Otros aspectos que merecen la pena destacar para completar su biografía, pueden ser que, desde 1954, era miembro de la Academia de Ciencias USA. Entre 1961 y 1974, miembro del consejo de administración de la Xerox. De 1962 hasta 1972, presidente de la Comisión de Bajas Temperaturas de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada. Presi-



La figura clave en esta historia es Mervin Kelly, vicepresidente ejecutivo y director de investigación en la ITT, quien, en 1936 comenzó a establecer como línea de investigación, en una compañía dedicada a las comunicaciones, los semiconductores

dente de la Sociedad Americana de Física. Miembro del Comité Científico de la Casa Blanca, del que dimitió en 1982 después del discurso del Presidente Reagan sobre la conocida como Guerra de las Galaxias. John Bardeen estaba casado desde 1938 y tuvo tres hijos. Después de su jubilación fue nombrado profesor emérito en la Universidad de Illinois, donde continuó trabajando y publicando en revistas científicas de primer orden; curiosamente firmó él solo sus últimos artículos, hasta prácticamente su muerte, que ocurrió a los 82 años de edad, de un infarto, en Urbana, cerca de Chicago, la pequeña ciudad donde está el campus de la Universidad del Estado.

Como se puede observar por cualquier lector la nota destacada de esta breve biografía es la capacidad de trabajo y la gran cantidad de actividades que desarrolló Bardeen a lo largo de su vida. Brevemente, una anécdota que ilustra la dedicación de Bardeen al trabajo. Leon Cooper re-

cuerda los años apasionantes en los que fue contratado por Bardeen para que trabajara a su lado en la teoría de la superconductividad, que les valió el premio Nobel. Cooper que compartía el mismo despacho que su jefe, lo primero que hizo fue avisar a Bardeen sobre sus hábitos horarios. Cooper tenía la costumbre, por lo que él mismo cuenta, de llegar a media mañana a trabajar. Bardeen le contes-

tó que a él le daba lo mismo la hora que llegase, con tal que hiciese su trabajo. En 1957, con Bardeen siendo ya premio Nobel, estaban trabajando de una manera febril junto con Schrieffer, en lo que sería la teoría microscópica de la superconductividad. En ese año Cooper tuvo su primer hijo y después de estar en la clínica toda la noche decidió, contra su costumbre, ir directamente de la clínica al trabajo pensando que, dada la hora, sería el primero en llegar, al menos ese día. Cooper se equivocaba, porque lo primero que hizo, según cuenta, fue dar los buenos días a Bardeen.

El triunfo de la constancia

Parfraseando la novela de García Márquez, la historia del transistor se podría titular *Crónica de un descubrimiento anunciado*. Pocas veces en la historia de la ciencia se puede decir que con un claro planteamiento del problema, se pusieron los medios adecuados en el

momento oportuno y, en un tiempo muy corto, se encontraron resultados muy por encima de lo esperado. El transistor no fue fruto de la casualidad, ni de la buena suerte, ni del esfuerzo solitario de algún «inventor» más o menos visionario. Tampoco tuvo nada de heroico, ni se parece en nada a la idea que se tiene en general de lo que es la investigación, muchas veces más cerca de figuras míticas, como pueden ser Pasteur, Ramón y Cajal, el matrimonio Curie, etc. El descubrimiento del transistor se produjo en los laboratorios de investigación de una multinacional, como era la ITT, hoy en día, después de las leyes antimonopolio del presidente Reagan, sucedida por la ATT. Tenemos un típico ejemplo de investigación básica realizada en un entorno industrial.

La figura clave en esta historia es Mervin Kelly, vicepresidente ejecutivo y director de investigación en la ITT, quien en 1936 comenzó a establecer como línea de investigación, en



una compañía dedicada a las comunicaciones, los semiconductores. Después del paréntesis de la guerra, con investigación dedicada a radares, en 1945 Kelly organiza la división de investigación en Física de Estado Sólido de los Bell Telephone Laboratories; para lo cual contrata a un grupo de investigadores, algunos, los menos, de otras divisiones de la propia compañía, pero la mayoría con experiencia únicamente universitaria. Coloca al grupo bajo la dirección de William Shockley, persona de la casa, quien desde 1936 había trabajado en la ITT, en el departamento de tubos de vacío. Durante la guerra mundial fue el director del grupo de investigación sobre operaciones de guerra antisubmarina en la Marina. Lo más destacado de la puesta en marcha de este grupo, fue la nota de Kelly donde se creaba el grupo y se le marcaban sus objetivos. Se puede leer textualmente: «...obtener nuevos conocimientos que puedan ser usados en el desarrollo de componentes totalmente nuevos y mejores para sistemas de comunicaciones».

Suficientemente vago y general como para que la propia división fijase sus propios temas, sin presiones ni expectativas equivocadas. El escenario era perfecto, una experiencia y una sensibilidad en temas científicos desarrollada durante mucho tiempo. Madurez, que solo la da el paso del tiempo, en el entorno de la sociedad. Un grupo de investigadores de calidad y con experiencia, dotados de un soporte técnico y de medios suficientes y, por último, y lo más importante, con apoyo y respaldo sin presiones de la dirección de la empresa.

Entre los varios problemas que abordaron, uno de



El descubrimiento del transistor es uno de los ejemplos más claros de cómo la interacción entre un medio receptor, un grupo de personas bien elegido, con medios técnicos adecuados y libertad de actuación, produce resultados prácticos en muy breve tiempo

ellos, que fue el que condujo al descubrimiento del transistor, consistía en intentar sustituir los tubos de vacío que se utilizaban en numerosos aparatos. Cualquiera lector de una cierta edad recordará las antiguas radios llenas de «bombillas», artilugios de considerable tamaño y con gran facilidad para «fundirse»; en realidad, válvulas, un tanto siniestras. Por ejemplo, el primer «ordenador electrónico» que se construyó (1946) constaba de 18.850 de estos tubos de vacío (solo encontrar cual era el estropeado era toda una aventura) ocupaba una superficie de 150 metros cuadrados y consumía una potencia de 150 kw. Basta comparar este impresionante aparato, por su tamaño y consumo, con cualquier calculadora de bolsillo que hoy en día realiza más y mejores operaciones, alimentada con una simple pila.

Para buscar algún dispositivo de estado sólido que hiciera las funciones de las válvulas de vacío se necesitaba un buen conocimiento de materiales semiconductores. Ahora bien, dado el esfuerzo realizado durante la guerra, en concreto, en investigación sobre radares el Germanio y el Silicio eran semiconductores que se podían fabricar y con los que se operaba con gran perfec-

ción. Pero el trabajo fundamental, las bases para desarrollar el dispositivo, fueron establecidas en 1946 por Bardeen en un trabajo teórico de investigación básica sobre algo tan oscuro para el lector profano como pueden ser los estados de superficie de un sólido. Lo importante es que las tareas de investigación pura de Bardeen precedían unos resultados experimentales cruciales en la dirección deseada. Es decir, Bardeen, con su genial trabajo, sugería experimentos no solo que comprobaban el acierto de su teoría, sino también permitían diseñar y resolver las dificultades de estos nuevos dispositivos, de los cuales se sabía lo que debían hacer; pero no como conseguirlo. Se conserva el cuaderno de laboratorio de Walter Brattain donde está relatado, en la página 38.139-7, el experimento con los diagramas del circuito y el símbolo del transistor, que luego se ha convertido en el símbolo internacional. En realidad, Brattain hizo tan solo un dibujo realista del dispositivo. Según cuenta el propio Bardeen, los primeros experimentos con éxito del amplificador, conocido como transistor de punta de contacto, fueron realizados en la última semana de diciembre por él mismo y Brattain después de varios intentos. Usando electrolí-

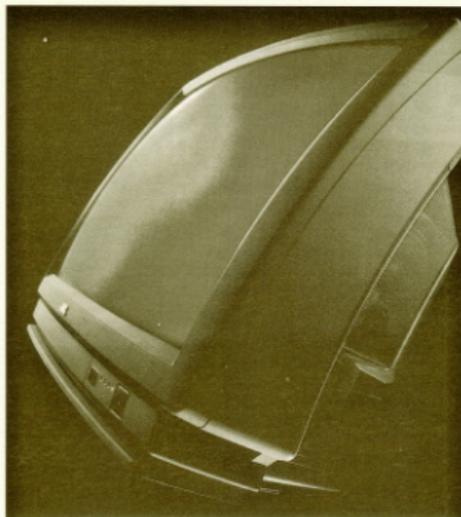


tos y diversas posibles configuraciones, se llegó a una amplificación de la corriente eléctrica controlable y reproducible.

La noticia del siglo

Tan solo un mes después, el 23 de enero de 1948, W. Shockley realizaba el transistor de unión con la geometría que hoy se conoce. El 10 de diciembre de 1956 Bardeen, Shockley y Brattain recibían el premio Nobel por un dispositivo que revolucionó la vida de la última mitad de este siglo. En Junio de 1948, los laboratorios Bell hacían público este descubrimiento. Días después del anuncio, en la Sección «Noticias de la Radio» del *New York Times*, aparecía, brevemente, la noticia: El periodista que la reflejó no podía imaginar que estaba dando una de las noticias del siglo.

El mejor resumen lo realizó, hace unos años, Ian Ross, entonces director de los ATT Bell Laboratories, cuando, citando a Pasteur y refiriéndose al descubrimiento del transistor dijo: «En ciencia, la suerte solo favorece a las mentes preparadas». En realidad, en todo descubrimiento crucial, la suerte juega un papel muy importante, pero sin duda en este caso concreto, tanto el entorno como las personas que participaron directamente reunían condiciones óptimas. El descubrimiento del transistor es uno de los ejemplos claros de cómo la interacción entre un medio receptivo, un grupo de personas bien elegido, con medios técnicos adecuados y libertad de actuación, produce resultados prácticos en muy breve tiempo. Actualmente,



los laboratorios ATT Bell son, sin ningún género de duda, los más prestigiosos del mundo en investigación de Física de Estado Sólido, tanto básica como aplicada. Pero no se limitan a ese campo. El actual director Arno Penzias, consiguió el premio Nobel en Física (finales de los setenta) por algo realmente alejado del estado sólido: el descubrimiento y medida, junto a Robert Wilson, de la radiación de fondo en el Universo, vestigio y una de las principales pruebas de que el Universo tuvo un principio, el conocido popularmente como el Bing Bang. Los laboratorios Bell son actualmente, una ingente máquina de producir ciencia en una muy amplia diversidad de campos, con un presupuesto en el último año para I + D de 3 billones (billones USA) de dólares.

Finalmente unas líneas sobre la actividad posterior de J. Bardeen. Como ya se

indicó, Bardeen abandonó los laboratorios Bell en 1951, cansado, según él mismo cuenta, de la transitoriedad que se abatía, como era lógico, sobre el laboratorio y pasó a la universidad. Allí desarrolló una actividad completamente distinta y en 1957 construía, con sus colaboradores, la teoría de la superconductividad. Explicando con claridad asombrosa uno de los fenómenos más interesantes y complicados que existen en la naturaleza. Simplemente, decir que el fenómeno de la conducción eléctrica sin disipación, sin resistencia, sin gasto de energía fue descubierto en 1911 y hasta 1957, hasta Bardeen, no se consiguió entenderlo. R. Feynman, premio Nobel de Física y uno de los científicos más brillantes y de los personajes más carismáticos y de personalidad más atrayente de la ciencia de este siglo decía en 1954:

«Si vais a trabajar en superconductividad, os prevego antes de que empezéis. Llegaréis a una terrible sorpresa, terminaréis por descubrir que se es demasiado torpe para resolver el enigma».

John Bardeen, dando muestras de su originalidad, capacidad de trabajo y dirección, consiguió resolver con sus colaboradores el enigma por el que habían pasado todas las grandes figuras de la Física desde el principio de siglo. Cuando, por ejemplo, en una clínica se lleva a cabo una tomografía, cuando se trabaja en fusión nuclear (en principio, la energía del futuro) se utilizan efectos superconductores, de nuevo, se está haciendo un homenaje inconsciente a la memoria de John Bardeen. ■



José Luis Vicent, es Catedrático de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid.