

Medio siglo de innovación: Nanotecnología y telefonía celular, dos pilares de la era moderna

Alejandra I. Vallejo Martínez, Alexis J. Ortiz Ledezma, Roxana Berlanga Pérez, Leonardo Chávez-Guerrero

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Cd. Universitaria, Pedro de Alba, San Nicolás de los Garza, N.L.
alejandra.vallejom@uanl.edu.mx, alexis.ortizld@uanl.edu.mx, roxana.berlangapz@uanl.edu.mx,
leonardo.chavezgr@uanl.edu.mx,

RESUMEN

Los avances en nanotecnología han acercado la posibilidad de teléfonos celulares más ligeros, con baterías con mayor duración, procesadores rápidos e incluso pantallas flexibles. Esta ciencia, que manipula la materia a escala nanométrica (<100 nm), ha sido clave en la evolución de la industria electrónica y móvil. El presente artículo pretende explorar cómo las innovaciones en nanotecnología han redefinido los dispositivos móviles y su impacto en el futuro de los celulares, destacando tanto sus beneficios como sus limitaciones. Conforme la nanotecnología avanza, surgen nuevas posibilidades que transforman la experiencia digital, que podrían aplicarse a otros campos.

PALABRAS CLAVE

Nanotecnología, Nanoelectrónica, Teléfono inteligente, Teléfono celular.

ABSTRACT

Advances in nanotechnology have brought closer the possibility of lighter cell phones, longer-lasting batteries, fast processors and even flexible screens. This science, which manipulates matter at the nanometer scale (<100 nm), has been fundamental to the evolution of the electronics and mobile industry. Innovations article aims to explore how innovations in nanotechnology have redefined mobile devices and their impact on the future of cell phones, highlighting both its benefits and limitations. New possibilities are emerging as nanotechnology advances, transforming the digital experience, which could be applied to other fields.

KEYWORDS

Nanotechnology, Nanoelectronics, Smartphone, Cell phone.

INTRODUCCIÓN

Al considerar la veloz evolución de los dispositivos de comunicación, la cual devino en el desarrollo de teléfonos celulares, aparatos que cargamos a todas partes, se suele pasar por alto el mundo de la nanotecnología. Este campo de la ciencia y la tecnología trabaja con materiales y estructuras comprendidas en el rango de 1 a 100 nanómetros (nm), una escala donde las propiedades de los materiales se transforman favorablemente para aplicaciones específicas. En la figura 1 se muestra una escala comparativa de tamaños donde se visualiza la diversidad de dimensiones en objetos cotidianos, estructuras y partículas subatómicas, subrayando la magnitud de la reducción en el ámbito nanométrico.¹

La nanotecnología y su disciplina complementaria, la nanociencia, se enfocan en estudiar y manipular la materia a escala nanométrica. Mientras que la nanociencia analiza cómo se comportan los materiales a esta escala, la nanotecnología aplica ese conocimiento para diseñar materiales, dispositivos y sistemas avanzados. Uno de los resultados de estas áreas ha sido el avance exponencial que han presentado los aparatos electrónicos, permitiendo el desarrollo de dispositivos más compactos y eficientes, mejorando la capacidad de las baterías y procesadores, así como la resolución de las pantallas. Esto ha sido fundamental para la evolución de los teléfonos celulares.

Los avances en la fabricación de materiales a escala nanométrica han permitido diseñar los componentes que forman parte de los circuitos y dispositivos electrónicos actuales. Esto ha transformado no solo los teléfonos celulares, sino también otros aspectos de la vida cotidiana, al hacer posible la miniaturización y mejora continua de la tecnología.

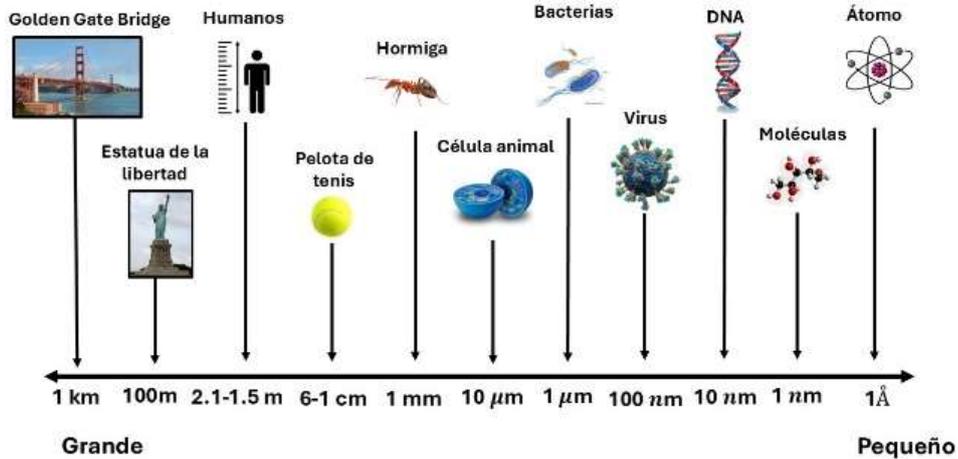


Fig.1. Escala comparativa de tamaños, mostrando la diversidad de dimensiones en objetos cotidianos, estructuras y partículas subatómicas.

NANOTECNOLOGÍA

De acuerdo con la norma ISO/TC 229,³ que incorpora elementos de la definición por parte de la *U.S National Nanotechnology Initiative*, la nanotecnología se define como: la comprensión y el control de la materia y los procesos a nanoescala, por debajo de los 100 nanómetros en una o más dimensiones. En esta escala, el conjunto de fenómenos dependientes del tamaño suele permitir aplicaciones novedosas al aprovechar las propiedades de los materiales que, a nanoescala, son distintas de las de los átomos individuales, las moléculas y la materia en bulto. Estas características permiten la creación de materiales, dispositivos y sistemas mejorados que explotan estas nuevas propiedades.

No obstante, antes de llegar a esta definición contemporánea, el término *nanotecnología* fue introducido por Norio Taniguchi en 1974, cuando describió el proceso de fabricación de semiconductores mediante técnicas como la deposición de películas finas y la incidencia de haces de iones, las cuales involucran la manipulación de materiales a escala nanométrica. Esta conceptualización marcó el inicio de una etapa en los campos de la ciencia y la tecnología.⁴

Los nanomateriales se agrupan en cuatro categorías principales según su dimensionalidad: cero dimensiones (0-D), que incluyen elementos como los puntos cuánticos, los cuales están completamente confinados en las tres direcciones del espacio; una dimensión (1-D), representada por los nanotubos, que están restringidos a lo largo de su longitud, sin variaciones en ancho o altura; dos dimensiones (2-D), que abarcan materiales como las nano-láminas, que se extienden en longitud y ancho, pero tienen un grosor extremadamente reducido; y tres dimensiones (3-D), que se definen por su capacidad de extenderse en las tres direcciones del espacio: longitud, ancho y altura. Este último tipo de nanomateriales presenta estructuras complejas que pueden integrar múltiples componentes en una sola entidad, otorgándoles características únicas y versátiles que son útiles en diversas aplicaciones.⁵

El campo de aplicación de la nanotecnología está en constante crecimiento y en él convergen diversas disciplinas, como la física, la ingeniería, la biología, la medicina, entre otras.⁶

En cada una de estas ramas hay aplicaciones muy particulares. Algunas de ellas se pueden visualizar en la figura 2.



Fig. 2. Algunas aplicaciones dentro de la nanotecnología.

El área de aplicación que le concierne en adelante al presente artículo son los dispositivos electrónicos, por lo que se desglosará con mayor detalle la evolución y avances que han ocurrido desde que la nanotecnología se convirtió en un punto de interés para la electrónica.

NANOELECTRÓNICA

La electrónica es la rama de la física que se encarga de los circuitos que constan de diversos componentes activos, como diodos, transistores, tubos de vacío, circuitos integrados, así como equipos de interconexión como las tarjetas de circuito y otras formas de infraestructura de comunicación, que permiten que se complete la funcionalidad del circuito. Cada elemento electrónico depende de cómo los materiales permiten o bloquean el flujo de electricidad, por lo que la clasificación de los materiales toma un papel importante. De acuerdo con las propiedades electrónicas de un material se clasifican como: conductores, aislantes o semiconductores. En un circuito eléctrico, cada uno de ellos cumple una función. Los conductores son los responsables de transportar energía de un punto a otro; los aislantes suelen usarse para recubrir a los cables y evitar fugas eléctricas.

Por su parte, los semiconductores, gracias a sus propiedades únicas, controlan y procesan las señales eléctricas. Debido a esto, juegan un rol importante en la nanoelectrónica. Para perfeccionar su funcionamiento, uno de los procesos esenciales en los semiconductores es el dopaje, que consiste en introducir intencionalmente pequeñas cantidades de otros átomos, llamados *impurezas*, alterando la densidad de portadores de carga y, por ende, modificando su capacidad de conducción. El número de electrones de valencia de las impurezas atómicas determinará el tipo de semiconductor que tendrá lugar; Pueden ser del tipo *n* o tipo *p*, los cuales están esquematizados en la figura 3. Ese tipo de ajustes controlados facilita la fabricación de diversos dispositivos electrónicos, como transistores o *chips*.

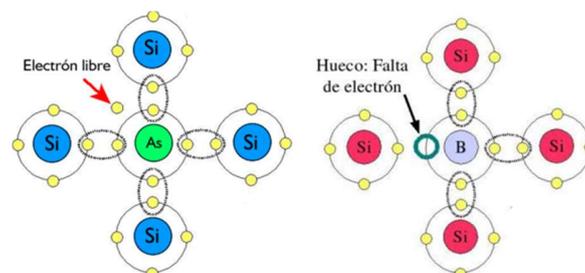


Fig. 3. Dopaje con arsénico en un semiconductor tipo N y dopaje con boro en un semiconductor tipo P.

Después de tener delimitados los términos de *nanotecnología* y *electrónica*, es posible establecer un término que combina estas dos áreas: la nanoelectrónica, que es la rama a la que le compete el manejo, la caracterización y la fabricación de dispositivos electrónicos a escala nanométrica.⁷

Comportamiento de los materiales electrónicos a escala nanométrica

Cuando se trabaja con materiales a nanoescala, existen dos razones principales por las que se modifican las propiedades del material. La primera es que las nanoestructuras tienen una superficie mayor en comparación con un bloque más grande que contenga la misma cantidad de material, lo que aumenta su reactividad. La segunda razón es que los efectos cuánticos adquieren mayor relevancia a medida que la escala se acerca a los nanómetros, algo que no se observa en tamaños mayores. Este fenómeno es conocido como *confinamiento cuántico* (figura 4), en donde las partículas, como los electrones, tienen menos espacio para moverse, lo que provoca que solo puedan ocupar ciertos niveles de energía específicos,⁸ en lugar de moverse libremente como en un material más grande. Debido a lo anterior, cuando la materia se encuentra en la escala nanométrica se presentan variaciones en sus propiedades, como en la conductividad eléctrica, por lo que un material que se comporta normalmente como conductor, a nanoescala puede comportarse como semiconductor o aislante.⁹ Esto ha permitido desarrollar tecnologías innovadoras, como celdas solares más eficientes, sensores avanzados y dispositivos electrónicos que aprovechan estas propiedades.

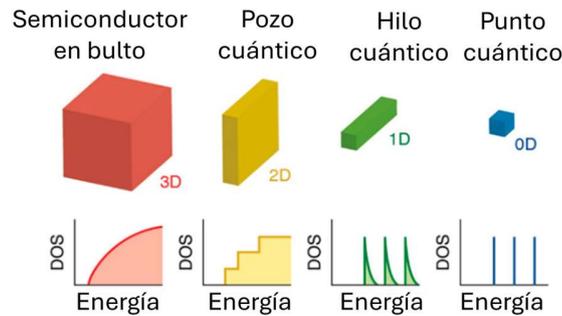


Fig. 4. Representaciones de confinamiento cuántico en distintas dimensionalidades (DOS: densidad de estados electrónicos).¹⁰

La nanotecnología y la miniaturización en los componentes eléctricos

La miniaturización es un concepto general que aborda la manufactura de dispositivos electrónicos, mecánicos y ópticos cada vez más pequeños sin perder su efectividad, e incluso, en muchos casos, aumentando su rendimiento.¹¹ Esta técnica permite incluir más funciones en espacios reducidos, lo que da lugar a dispositivos más compactos, eficientes y fáciles de transportar. En la tecnología moderna, la miniaturización es esencial, ya que aumenta la capacidad de procesamiento, reduce el consumo de energía y optimiza la velocidad de funcionamiento.

La nanotecnología ha sido clave en este avance, debido a las propiedades únicas que presentan los materiales en la escala nanométrica. Un ejemplo es la creación de transistores a nivel nanométrico, pues se ha reducido notablemente el tamaño de los dispositivos electrónicos, aumentando la densidad de transistores en áreas más pequeñas. Esto se traduce en mejoras significativas en el rendimiento y eficiencia energética de los *microchips*, así como en la optimización en la transmisión de señales, fundamentales en tecnologías como los teléfonos móviles y otros dispositivos electrónicos.

Pero, además del rendimiento de dispositivos, el impacto de la nanotecnología en la electrónica abre camino a tecnologías emergentes como la computación cuántica y la inteligencia artificial, las cuales requieren un alto nivel de procesamiento y eficiencia energética. Estos avances no solo transforman el sector tecnológico, sino que también repercuten en áreas como el análisis de datos, la inteligencia de datos y la ciberseguridad. Por lo que, a medida que la nanotecnología siga avanzando,

es crucial que el desarrollo sea responsable, ético y sostenible, para asegurar un impacto positivo tanto en la tecnología, como en la sociedad y en el planeta.¹²

Desarrollo del Transistor y el Circuito integrado

El transistor, uno de los descubrimientos más trascendentales del siglo XX, fue desarrollado en 1947 por un equipo de científicos en los Laboratorios Bell, liderado por William Shockley e integrado por John Bardeen y Walter Brattain, mostrados en la figura 5. Este invento surgió como respuesta a las limitaciones de los tubos de vacío, dando lugar a un dispositivo semiconductor capaz de amplificar señales eléctricas. En 1956, el trabajo de Bardeen, Shockley y Brattain fue reconocido con el Premio Nobel de Física "por sus investigaciones sobre semiconductores y el descubrimiento del efecto transistor". Actualmente, el transistor es un componente esencial en todos los dispositivos electrónicos, formando la base de los circuitos integrados y facilitando la miniaturización tecnológica.¹³



Fig. 5. 1956, William Shockley, sentado, (1910-1989), John Bardeen, en el centro, (1908-1991) y Walter Brattain, a la derecha, (1902-1987).

El desarrollo del circuito integrado en los años 60 representó un punto de inflexión crucial. Procesos como la fotolitografía y el transistor planar hicieron posible la fabricación masiva de componentes en una sola oblea de semiconductor, lo cual redujo costos y mejoró la fiabilidad. La predicción de Gordon E. Moore, que anticipaba una duplicación continua de la complejidad de los circuitos integrados, ha sido asombrosamente precisa, con circuitos que actualmente contienen cientos de miles de componentes.

El auge de la microelectrónica ha tenido un profundo impacto económico. Tras la introducción del circuito integrado, el consumo global de estos componentes se disparó, alcanzando casi mil millones de dólares en 1970 y superando los 3500 millones en 1976. Este crecimiento se tradujo en un aumento en la producción y exportación de circuitos integrados por parte de compañías estadounidenses, subrayando su papel esencial en la industria electrónica mundial, valorada en unos 80 mil millones de dólares.

Además de reducir los costos directos de los circuitos integrados, esta tecnología ha aportado significativos ahorros en mano de obra y materiales, gracias a la reducción de interconexiones necesarias. Los circuitos integrados, al ser más confiables y requerir menos mantenimiento, permiten un ahorro considerable en costos operativos. También hacen un uso más eficaz del espacio físico y disminuyen la necesidad de infraestructura adicional, como transformadores y sistemas de refrigeración. La evolución de la microelectrónica ha transformado tanto la tecnología como la economía, y a medida que seguimos descubriendo su potencial, es probable que esta revolución continúe generando nuevas oportunidades y desafíos en los años venideros.¹⁴

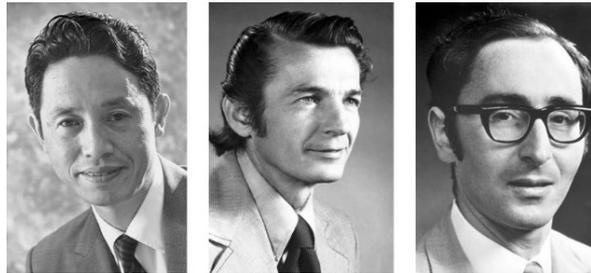
Los avances en la tecnología microelectrónica han desencadenado una revolución que ha reconfigurado el panorama tecnológico. La miniaturización de los componentes electrónicos y el

desarrollo del circuito integrado han transformado las capacidades tecnológicas, convirtiendo a los dispositivos microelectrónicos en elementos clave para aplicaciones que van desde misiones especiales a Marte y la Luna, hasta objetos cotidianos como relojes digitales, calculadoras y celulares. Esta evolución ha potenciado la capacidad de las computadoras para almacenar, procesar y visualizar información, dando lugar a dispositivos más rápidos, compactos y eficientes, además de integrar la computación en herramientas industriales y de uso personal. Asimismo, la microelectrónica ha generado oportunidades intelectuales y sociales, facilitando el acceso a vastas cantidades de información mediante computadoras personales.

Avances en la nanotecnología

El desarrollo de dispositivos electrónicos modernos, como los teléfonos móviles, ha sido posible gracias a descubrimientos científicos que impulsaron avances significativos en tecnología. A lo largo del tiempo, distintos premios Nobel han aportado contribuciones clave que sentaron las bases para la innovación en este campo. Estos premios no solo han promovido la investigación en áreas cruciales, sino que también han permitido la creación de componentes más pequeños y potentes, haciendo que los dispositivos electrónicos se conviertan en herramientas esenciales en nuestra vida diaria.

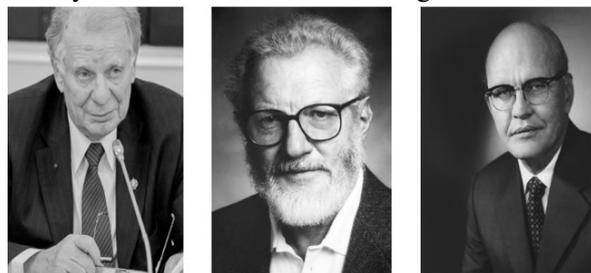
El Premio Nobel de Física de 1973 fue otorgado a Leo Esaki, Ivar Giaever y Brian Josephson, quienes realizaron importantes contribuciones al diseño de dispositivos basados en el tunelamiento cuántico. Estas innovaciones, como los diodos de túnel y las uniones Josephson, impulsaron avances en electrónica de alta frecuencia y establecieron la base para tecnologías fundamentales en la resonancia magnética. En la figura 6 se presentan a los galardonados, cuya labor marcó un hito en la física aplicada y la tecnología moderna.¹⁴



Leo Esaki Ivar Giaever Brian Josephson

Fig. 6. Leo Esaki, Ivar Giaever y Brian Josephson, Premio Nobel de Física 1973 por avances en tunelamiento cuántico, clave en electrónica y resonancia magnética.¹⁵

En el año 2000, Zhores Alferov, Herbert Kroemer y Jack Kilby fueron premiados por sus contribuciones a la tecnología de la información y comunicación. Alferov y Kroemer obtuvieron el reconocimiento por su desarrollo de heteroestructuras semiconductoras, mientras que Kilby fue honrado por inventar el circuito integrado (IC). En la figura 7 se destacan a los galardonados, cuya labor transformó la electrónica y sentó las bases de la tecnología moderna.¹⁶



Zhores Alferov Herbert Kroemer Jack Kilby

Fig. 7. Zhores Alferov, Herbert Kroemer y Jack Kilby, Premio Nobel del 2000 por avances en heteroestructuras semiconductoras y la invención del circuito integrado.

Albert Fert y Peter Grünberg recibieron en 2007 el Premio Nobel de Física por su descubrimiento de la magnetorresistencia gigante (GMR), un hallazgo que transformó la tecnología de almacenamiento de datos y dio lugar al campo de la espintrónica. En la figura 8 se presentan a los galardonados, cuya investigación revolucionó el almacenamiento de datos y las aplicaciones en espintrónica.¹⁷

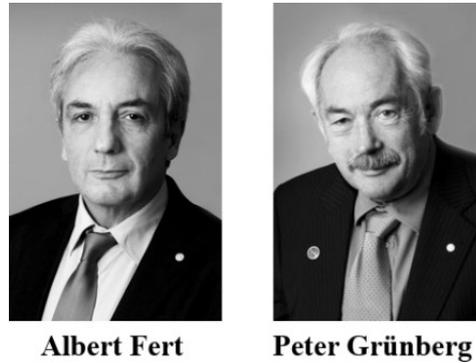


Fig. 8. Albert Fert y Peter Grünberg, Premio Nobel de Física 2007 por el descubrimiento de la Magnetorresistencia Gigante (GMR), clave en almacenamiento de datos y espintrónica.¹⁷

EL AVANCE TECNOLÓGICO

Los transistores: la base de la evolución tecnológica

La evolución del transistor ha transformado la tecnología y la comunicación. Desde los primeros bulbos de vacío, grandes y poco eficientes, hasta los transistores MOSFET que permitieron una miniaturización sin precedentes y un menor consumo de energía. Con la nanotecnología, los transistores alcanzaron escalas nanométricas, integrando millones de ellos en un solo chip. Esto sentó las bases para dispositivos modernos como los teléfonos celulares, donde el tamaño reducido es clave para la innovación tecnológica (figura 9).¹⁸

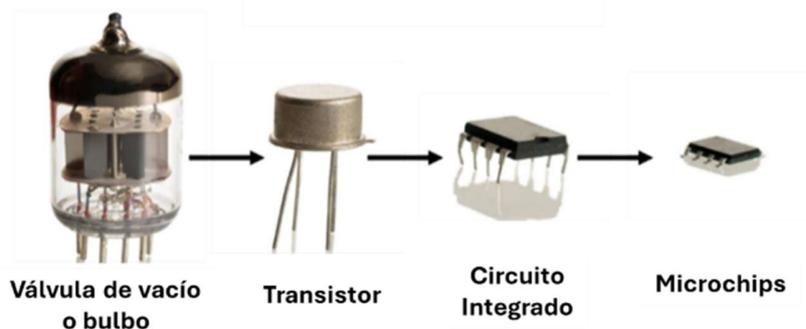


Fig. 9. Evolución de los transistores.

Principales partes de un teléfono celular

El funcionamiento de un teléfono celular involucra varias partes interconectadas:

Procesador (SoC): El núcleo del teléfono, que integra la CPU, GPU y otros controladores en un solo chip (figura 10). Utiliza transistores a escala nanométrica (5-7 nm), lo que permite procesar tareas en paralelo con alta eficiencia.¹⁹

Memoria RAM: Almacena datos e instrucciones temporales para mejorar la multitarea y el rendimiento rápido. La RAM moderna (LPDDR5) utiliza circuitos de bajo consumo y alta densidad gracias a avances en litografía (menos de 10 nm).²⁰

Antenas y módulos de transmisión: Múltiples antenas para redes 5G, WiFi y Bluetooth, acompañadas de módulos de Radio Frecuencia que gestionan señales en diferentes frecuencias, habilitando datos ultrarrápidos.

Baterías: Las baterías de ion de litio (Li-ion) son estándar, con alta densidad energética y buen ciclo de vida. Sin embargo, la nanotecnología está mejorando la capacidad y seguridad, incorporando materiales como el grafeno.²¹ Los principales fabricantes son: LG Chem, Samsung SDI y ATL.

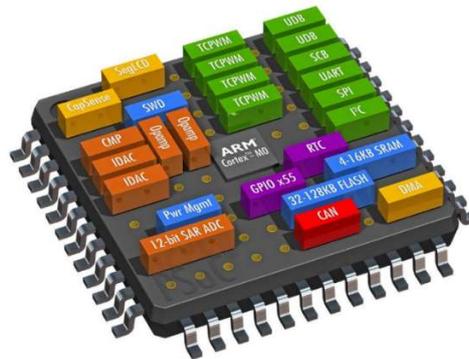


Fig. 10. Procesador SoC de un celular.

Funcionamiento de un teléfono celular

Cuando se realiza una llamada telefónica desde un móvil, el teléfono emisor convierte la voz del usuario en señales eléctricas, que luego son transmitidas en forma de ondas de radio hacia la estación base más cercana. Esta estación base recibe las señales y las envía a través de la Red Telefónica Conmutada (RTC), que es la infraestructura encargada de conectar llamadas. La RTC dirige la llamada a la estación base más cercana al destinatario, que convierte nuevamente las señales en ondas de radio para enviarlas al teléfono móvil receptor. El dispositivo receptor transforma esas ondas en sonido, permitiendo que el destinatario escuche la voz de la persona que llamó. Todo este proceso ocurre instantáneamente, permitiendo una comunicación fluida entre los dos teléfonos móviles (figura 11). El 3 de abril de 1973, Martín Cooper realizó la primera llamada de teléfono móvil con un modelo Motorola DynaTAC 8000x que tenía un peso de más de 1 kg y una altura de 22 cm. Se comunicó con su rival, el Dr. Joel S. Engel, de los Bell Labs. La tecnología de la telefonía móvil ha evolucionado a través de diferentes generaciones, conocidas como 1G, 2G, 3G, 4G y 5G, cada una con mejoras notables en la velocidad de transmisión de datos.



Fig. 11. Funcionamiento de una llamada por teléfono celular.

1G fue la primera generación de redes móviles, permitiendo solo transmisión de voz analógica. 2G introdujo la transmisión digital, mejorando la calidad de las llamadas y permitiendo los SMS. Con 3G, la velocidad aumentó, habilitando el acceso a internet móvil, videollamadas y navegación web.

El iPhone 3G recibió su nombre por ser el primer modelo con esta tecnología. 4G trajo velocidades mucho mayores, permitiendo streaming en HD y el uso de aplicaciones más intensivas en datos. Finalmente, 5G ofrece velocidades aún más rápidas, latencia ultrabaja y la capacidad de conectar muchos dispositivos, impulsando aplicaciones como la realidad aumentada y el IoT.²²

Evolución de los procesadores de los celulares

Desde los primeros celulares en los años 90, los procesadores han evolucionado gracias a la miniaturización de transistores. Inicialmente, estos dispositivos utilizaban chips básicos para llamadas y mensajes. Con la llegada de los primeros smartphones en los 2000, surgieron procesadores ARM de un núcleo capaces de manejar tareas simples como navegación web y reproducción de música. En 2010, los chips multinúcleo como el Apple A4 y el Snapdragon S1, fabricados en procesos de 45 y 65 nm, respectivamente, marcaron un avance en la capacidad multitarea. La conectividad 4G impulsó la transición hacia tecnologías de 10 nm, ejemplificada por el Snapdragon 835 y el Apple A11 en 2017. Hoy, chips como el Apple A14 Bionic, fabricado en 5 nm con 11.8 mil millones de transistores, optimizan el rendimiento para aplicaciones avanzadas y redes 5G.

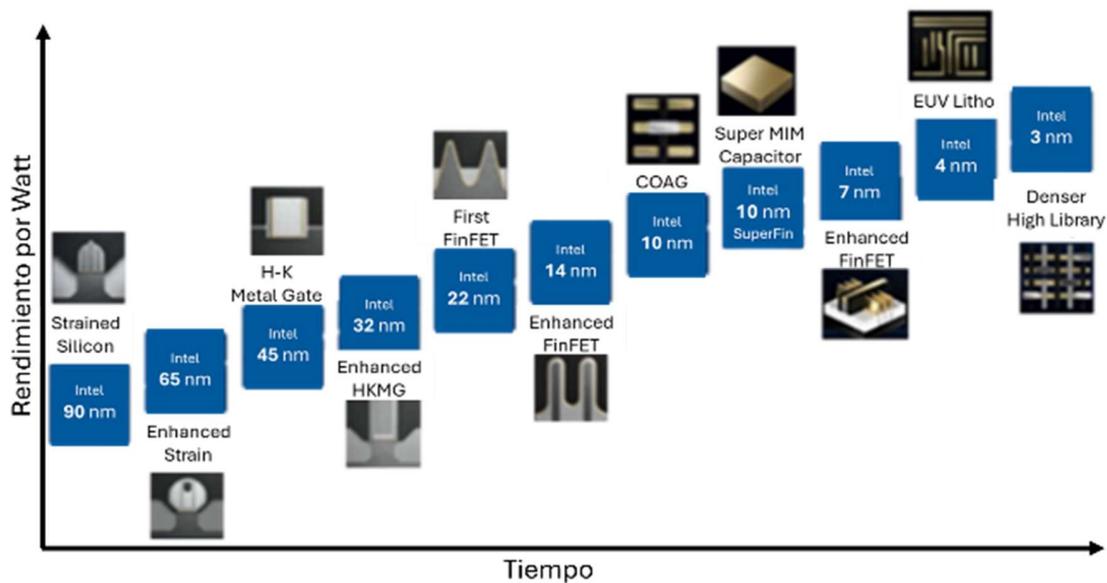


Fig. 12. Evolución de los procesadores Intel y su tecnología.

Intel ha liderado la miniaturización desde el procesador 4004 en 1971. En los años 70 introdujo el 8086, precursor de la arquitectura x86, y en los 90 los Pentium marcaron un salto en rendimiento. La serie Core, lanzada en 2006, inauguró la era multinúcleo. Desde entonces, Intel ha reducido sistemáticamente el tamaño de sus transistores: 800 nm en los 90, 45 nm en 2007, y 14 nm en 2014. Actualmente fabrica chips de 7 y 10 nm, avanzando hacia tecnologías de 4 y 3 nm (figura 12). Sin embargo, según Chris Miller en “La Guerra de los Chips”,²³ Nvidia ha superado a Intel en valor de mercado y liderazgo tecnológico.

Límite físico en la miniaturización

Durante décadas, el crecimiento en el rendimiento de los procesadores ha seguido la Ley de Moore formulada en 1965 por Gordon Moore, cofundador de Intel, que predice que la cantidad de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada dos años. Sin embargo, al acercarnos a escalas menores a 5 nanómetros, los límites físicos de la miniaturización se hacen evidentes: los transistores se vuelven tan pequeños que comienzan a experimentar efectos cuánticos que afectan su

estabilidad. Estos problemas, junto con la creciente generación de calor en procesadores más densos, complican la continuación de la Ley de Moore.²⁴ La industria de los semiconductores está mirando hacia nuevas estrategias como la optimización a través de software y algoritmos, permitiendo que los dispositivos usen su hardware de manera más eficiente. Además, están surgiendo arquitecturas innovadoras, como los sistemas de computación heterogénea (*CPU*, *GPU* y unidades de procesamiento neural en un solo *chip*) y el uso de materiales avanzados, que podrían reemplazar el silicio en el futuro. Estas alternativas podrían permitir el crecimiento en rendimiento sin depender exclusivamente de la miniaturización de transistores.

CONCLUSIONES

Los avances en nanotecnología, impulsados por descubrimientos que han recibido reconocimientos como los premios Nobel, han transformado la tecnología moderna, posibilitando la miniaturización y eficiencia de los componentes electrónicos. Este progreso ha impactado en el desarrollo de dispositivos esenciales como los teléfonos celulares, mejorando su rendimiento, reduciendo el consumo energético y permitiendo diseños más compactos. La incorporación de componentes a escala nanométrica, como procesadores más potentes, ha convertido a los celulares en herramientas multifuncionales de alta precisión. Estos avances destacan la importancia de seguir investigando en nanotecnología para satisfacer las crecientes demandas tecnológicas de la sociedad.

REFERENCIAS

1. Bhushan, B. (Ed.). (2017). Springer handbook of nanotechnology (pp. 1-4). Springer.
2. Dudley, D. (2024, 13 febrero). The evolution of Mobile Phones: 1973 to 2019. Flaunt Digital. <https://flauntdigital.com/blog/evolution-mobile-phones/>.
3. ISO/TC 229 - Nanotechnologies. (2021, 1 abril). ISO. <https://www.iso.org/committee/381983.html>.
4. Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología. un mundo pequeño. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (42), 125-155.
5. Tiwari, J. N., Tiwari, R. N., & Kim, K. S. (2012). Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices. *Progress in Materials Science*, 57(4), 724-803.
6. Singh, H., & Kaur, K. (2023). Role of nanotechnology in research fields: Medical sciences, military & tribology- A review on recent advancements, grand challenges and perspectives. *Materials Today Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.061>.
7. Payal, N., & Pandey, P. (2021). Role of Nanotechnology in Electronics: A Review of Recent Developments and Patents. *Recent Patents On Nanotechnology*, 16(1), 45-66. <https://doi.org/10.2174/1872210515666210120114504>.
8. Cavallari MR, Santos G, Fonseca FJ. Nanoelectronics. *Nanoscience and its application*. 2017.
9. Wise, F. W. (2000). Lead Salt Quantum Dots: the Limit of Strong Quantum Confinement. *Accounts Of Chemical Research*, 33(11), 773-780. <https://doi.org/10.1021/ar970220q>.
10. Busatto, S., & De Mello Donega, C. (2022). Magic-Size Semiconductor Nanostructures: Where Does the Magic Come from? *ACS Materials Au*, 2(3), 237-249. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialsau.1c00075> <https://doi.org/10.1021/acsmaterialsau.1c00075>
11. Ahmadi, M., Amouzegar, Z., Khalili, S., Asadi, S., Aghajani, S., Aryanrad, P., Afkhami, A., Madrakian, T., Thomas, S., & Nguyen, T. A. (2022). Miniaturization—An introduction to miniaturized analytical devices. En *Elsevier eBooks* (pp. 3-16). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823727-4.00002-x>.
12. Charles Jr, H. K. (2005). Miniaturized electronics. *Johns Hopkins APL technical digest*, 26(4), 402-413.
13. Craford, M. G. (2024). LED LIGHTING. *LED LIGHTING*, (pp. 125-129).

14. Noyce, R. N. (1977). Microelectronics. *Scientific American*, 237(3), 62-69.
15. Langenberg, D. N. (1973). The 1973 Nobel Prize for Physics. *Science*, 182(4113), 701-704.
16. Alferov, Z. I., Kroemer, H., & Kilby, J. S. Advanced information on the Nobel Prize in Physics 2000.
17. Thompson, S. M. (2008). The discovery, development and future of GMR: The Nobel Prize 2007. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41(9), 093001.
18. Magubane, N. (2023, May 3). Moore than meets the eye: The evolution of computing. *Penn Today*. Consultado el 28 de octubre de 2024 Recuperado de: <https://penntoday.upenn.edu/news/moore-meets-eye-evolution-computing>.
19. Arabi, K., & Kaminska, B. (Eds.). (2000). *System-on-a-Chip: Design and Test*. Artech House. Electronic ISBN: 9781580534710.
20. Heald, R. A., & Hodges, D. A. (1976). Multilevel random-access memory using one transistor per cell. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 11(4), 519-528.
21. Flipsen, B., Geraedts, J., Reinders, A., Bakker, C. (2012). Environmental sizing of smartphone batteries. *2012 Electronics Goes Green* (pp. 1-9) IEEE.
22. Alanko, T., Kojo, M., Laamanen, H., Liljeberg, M., Moilanen, M., & Raatikainen, K. (1994). Measured performance of data transmission over cellular telephone networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(5), 24-44.
23. Miller, C. (2024). *La guerra de los chips: La gran lucha por el dominio mundial* (1.a ed.). Planeta Publishing.
24. Leiserson, C. E., (2020). There's plenty of room at the Top: What will drive computer performance after Moore's law?. *Science*, 368(6495), eaam9744.