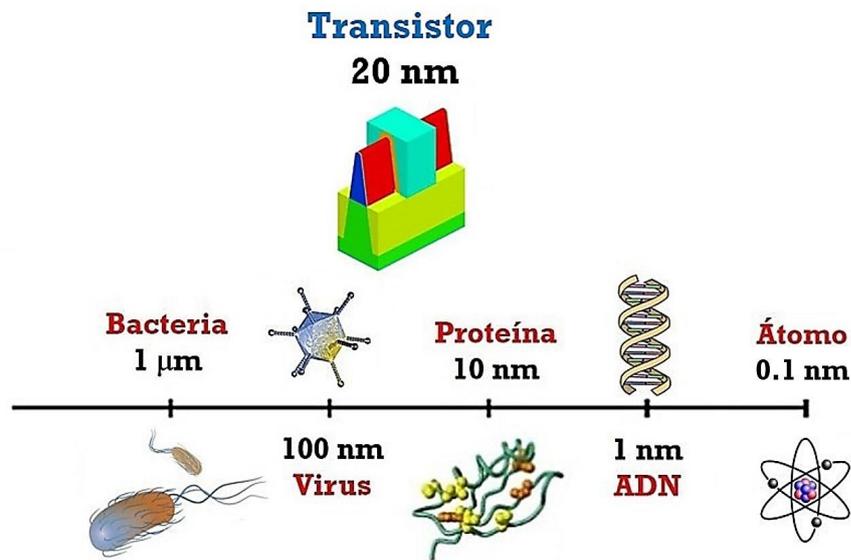


Transistores: los diminutos protagonistas de la revolución digital

Muestro la evolución histórica del tamaño de los transistores integrados en un chip, que en la actualidad son tan pequeños como una proteína o un virus



Comparando el tamaño de un transistor actual con el mundo biológico (Autor: Ignacio Martí)

La pandemia del COVID-19 ha puesto de manifiesto un grave problema de Europa: apenas se fabrican chips en nuestro continente [1]. Los chips (denominación en inglés de **circuito integrado**) son dispositivos que integran miles de millones de transistores en su interior, sin los cuales nuestro mundo no funcionaría: teléfonos móviles, ordenadores, toda clase de vehículos, internet, etc. los necesitan y, sin ellos, no existirían. ¿Cómo son los transistores de los chips que Europa quiere fabricar? Aquí describo la historia de la reducción de su tamaño hasta el día de hoy.





Gordon Moore, ¿un visionario?

Gordon Moore, uno de los fundadores de Intel, publicó en 1965 un artículo [2] qué, con el paso de los años, se ha convertido en una especie de profecía: el número de transistores de un chip se duplica cada dos años. Ese artículo es uno de los que más ha influido en el desarrollo posterior de esta rama de la tecnología. El aumento del número de transistores en los chips sigue desde entonces esa tendencia, que se conoce como *Ley de Moore* [3]. No deja de resultar llamativo que las previsiones que hizo Moore en el citado artículo no solo se han cumplido, sino que llevan haciéndolo un año tras otro desde hace más de medio siglo. No es fácil encontrar en cualquier otra rama industrial una “persecución” de un pronóstico con tanto empeño como este.

Y así ha sucedido ya que, desde el nacimiento del chip en 1959, en los siguientes años experimentó un desarrollo sin precedentes [4]. Si los primeros chips integraban unas pocas decenas de transistores, muy pocos años después ya se comercializaban con miles y, hoy día, hay chips con miles de millones de transistores.

Aumentar de manera tan descomunal en número de transistores ha sido posible gracias al gran desarrollo que ha experimentado su proceso de fabricación: la tecnología microelectrónica ha incorporado procedimientos que recuerdan parcialmente a la fabricación en cadena de los automóviles, de manera que sobre una única oblea semiconductora de silicio se replican simultáneamente un gran número del mismo circuito completo [3].

¿Qué significa realmente la *Ley de Moore*?

Parece obvio que cuantos más transistores contenga un chip, más pequeños deberán ser. Para hacerse una idea de lo que significa la *Ley de Moore*, imagine el lector que realiza un viaje al pasado. Sitúese en 1971 y dispóngase a escuchar una ópera en un auditorio que tiene un aforo de 2.300 personas, exactamente el mismo número de transistores que integraba el primer procesador fabricado por Intel ese año, el 4004. Si el aforo de ese auditorio hubiera evolucionado siguiendo la *Ley de Moore*, **pero sin variar el espacio que ocupa** y hubiera vuelto a él en 1982, en el mismo recinto se habrían congregado 134.000 personas –la capacidad de un gran estadio de fútbol y el número de transistores del procesador Intel 286–. Años después, en 2000, el auditorio ya permitiría albergar toda la población de Tokyo –37 millones de





personas, igual que el número de transistores del procesador Intel Pentium III-; si la audición la hubiera hecho en 2011, se habría reunido con 1.300 millones personas –toda la población de China o el número de transistores de una de las versiones del procesador Intel Core i7-; si hubiera acudido en 2019, el auditorio debería haber sido capaz de albergar a 7.400 millones de personas, es decir, la población de todo el planeta –y el número de transistores integrados en el controlador de almacenamiento z13 de IBM-. Finalmente, si la audición hubiera tenido lugar el pasado año 2021, el aforo habría llegado a ser equivalente a la población de dos planetas Tierra, pues se habrían reunido 15.800 millones de personas, precisamente el número de transistores que tiene el Bionic A 15 [5], el procesador del último “grito” de Apple, el iPhone 13.

Reducir el tamaño de los transistores tiene ventajas, aunque a costa de aumentar la complejidad del proceso de fabricación. Cuanto más pequeños son los transistores, mayor número se puede integrar en un chip de un tamaño determinado, aunque el coste de procesar una oblea sigue siendo aproximadamente el mismo, independientemente del número de chips que se obtienen de cada oblea. Además, la reducción de la escala de los transistores mejora su rendimiento sin aumentar su consumo de energía. Es decir, hay grandes incentivos para que los fabricantes de chips reduzcan el tamaño de sus transistores. Y eso es exactamente lo que han estado haciendo en las últimas décadas, en las que el número de transistores en un chip ha aumentado desde unos centenares a miles de millones, lo que supone un tamaño asombrosamente pequeño para los transistores. La imagen que encabeza este artículo muestra uno de tales dispositivos actual, denominado FinFET [6], en una escala comparativa con el mundo de la biología microscópica. No hacen falta más palabras.

A principios de este siglo se pronosticó que el final de la *Ley de Moore* llegaría hacia 2015 [7]. El autor de la predicción es Mark Lundstrom, un profesor de la Universidad de Purdue. Lundstrom comenzó a trabajar en la industria microelectrónica en la década de 1970 y asistió a su primera conferencia de fabricación de chips en 1975. Allí se encontró con Moore, a quien no conocía y de aquel encuentro relata lo siguiente:

“Había un tipo llamado Gordon Moore dando una charla. Era muy conocido dentro de la comunidad técnica, pero nadie más sabía quién era. Moore dijo «Pronto podremos colocar 10.000 transistores en un chip» ¿Qué podría hacer alguien con 10.000 transistores en un chip?”





Hoy en día, hay chips en el mercado con más de 15.000 millones de transistores. Pregunten a sus diseñadores y a sus fabricantes qué se puede hacer con ellos.



[1] M. Jiménez, "[La UE movilizará 43.000 millones para fabricar en Europa el 20% del mercado mundial de chips](https://cincodias.elpais.com/)", 9-febrero-2022, <https://cincodias.elpais.com/>

[2] G. Moore, "Cramming more components onto integrated circuits". Electronics Magazine, 38, 114 (1965). DOI: 10.1109/JPROC.1998.658762

[3] Ignacio Mártil, "Microelectrónica. La historia de la mayor revolución silenciosa del siglo XX" (Ediciones Complutense, Madrid, 2019). ISBN: 978-8466936026

[4] Thomas R. Reid, "The Chip: how two Americans invented the Microchip and launched a Revolution", (Random House, New York, 2001). ISBN: 978-0375758287

[5] La superficie del Bionic A 15 es 107.68 mm². Como tiene 15.800 millones de transistores, si suponemos que estos son cuadrados, las dimensiones de cada uno son 26 nm × 26 nm

[6] M. Lapedus, "[Transistors reach tipping point at 3nm](https://semiengineering.com/)", 22-febrero-2022, <https://semiengineering.com/>

[7] M. Lundstrom, "Moore's Law Forever?" Science, 299, 210 (2003). DOI: 10.1126/science.1079567

Autor: Ignacio Mártil, catedrático de Electrónica. Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica, Facultad de Ciencias Físicas.

