

# De los materiales conductores, aislantes y semi-conductores a la Ley de Moore de las computadoras

**Alejandro Ramírez Solís**

Depto. de Física, Facultad de Ciencias  
 Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Es del conocimiento común que los materiales pueden clasificarse por su comportamiento cuando son sujetos a una diferencia de potencial eléctrico, también llamado voltaje. Todo mundo sabe que para cambiar un fusible es mejor usar guantes o pinzas aisladas con plástico o hule. Esto se debe a que, *grosso modo*, los materiales pueden ser buenos (algunos excelentes) conductores de la corriente eléctrica o ser malos conductores; en este último caso se llaman materiales aislantes. Los primeros son generalmente metales, como el cobre, la plata y el oro, mientras que los aislantes generalmente son no metales, como el aire, el carbón o los materiales hechos de derivados de éste, como los plásticos y hules. Sin embargo, existe una sutileza. No hemos especificado cuál es la diferencia de potencial (el voltaje) aplicado a ambos lados del material. Si aplicamos un voltaje suficientemente alto (digamos de miles de volts) aun los materiales aislantes se vuelven conductores por un fenómeno que se conoce como la "ruptura eléctrica". Esta ruptura ocurre a diferentes valores de voltaje para cada material aislante y, para el aire, ésta ocurre cuando la diferencia de voltaje entre dos puntos situados a un metro alcanza los 300,000 volts. Este valor es de especial importancia por dos razones prácticas. Primeramente, es el voltaje que puede alcanzarse en la atmósfera cuando las moléculas de agua que suben con el aire caliente rozan las que bajan con el aire frío despojándolas de electrones; esto produce una separación de cargas positivas y negativas (cationes y aniones de agua) que se acumula en los extremos superior e inferior de las nubes. Esta acumulación continúa hasta que el voltaje entre dos puntos del aire alcanza los 300,000 volts/m y entonces ocurre una descarga eléctrica que regresa los electrones en exceso de los aniones hacia los iones positivos que habían sido formados previamente: esto es la esencia y el nacimiento de un rayo. La segunda razón tiene su origen en el uso tecnológico de este valor del voltaje de ruptura del aire en los motores de combustión interna. En efecto, los motores requieren para funcionar de la ignición de la mezcla



Microprocesador INTEL

combustible-aire y ésta se logra gracias a la chispa que salta entre los dos electrodos de una bujía. La distancia que separa estos electrodos está perfectamente calibrada (2-3 mm) para que la chispa surja cuando la señal eléctrica enviada a la bujía tenga el voltaje necesario para lograr la ruptura eléctrica de la mezcla mencionada.

Ya vimos que la conducción o falta de conducción de electricidad por un material es un asunto que depende del voltaje aplicado a él. En general, en las aplicaciones de la vida diaria estamos limitados a voltajes menores o iguales al que nos entrega el proveedor de energía eléctrica, y casi siempre (en América) se trata de 110 volts. En realidad, las aplicaciones más comunes en la actualidad usan voltajes mucho menores a éste, del orden de 3 a 15 volts. Para esto basta ver cuáles son los dispositivos electrónicos más

comunes como teléfonos celulares, laptops, iPods, cámaras digitales, etc. Entonces la definición de conductor o aislante se vuelve mucho más restringida y estricta. Estamos hablando ahora de materiales que conducen la electricidad con voltajes bajos. Aquí es donde aparecen los semi-conductores, que son precisamente aquellos que conducen la corriente eléctrica cuando el voltaje es bajo, digamos entre 1 y 6 volts. No son conductores, porque un conductor permite el paso de corriente con un voltaje miles de veces menor, pero tampoco son aislantes pues se requiere de un voltaje no demasiado alto para que se conviertan en conductores, comparado con el que requieren los aislantes comunes.

El uso de bajos voltajes con bajas corrientes tiene múltiples ventajas, pero las más notables son que los dispositivos consumen menos energía por unidad de tiempo de operación y se calientan menos, con lo cual la disipación de energía es menor, por lo que son más eficientes.

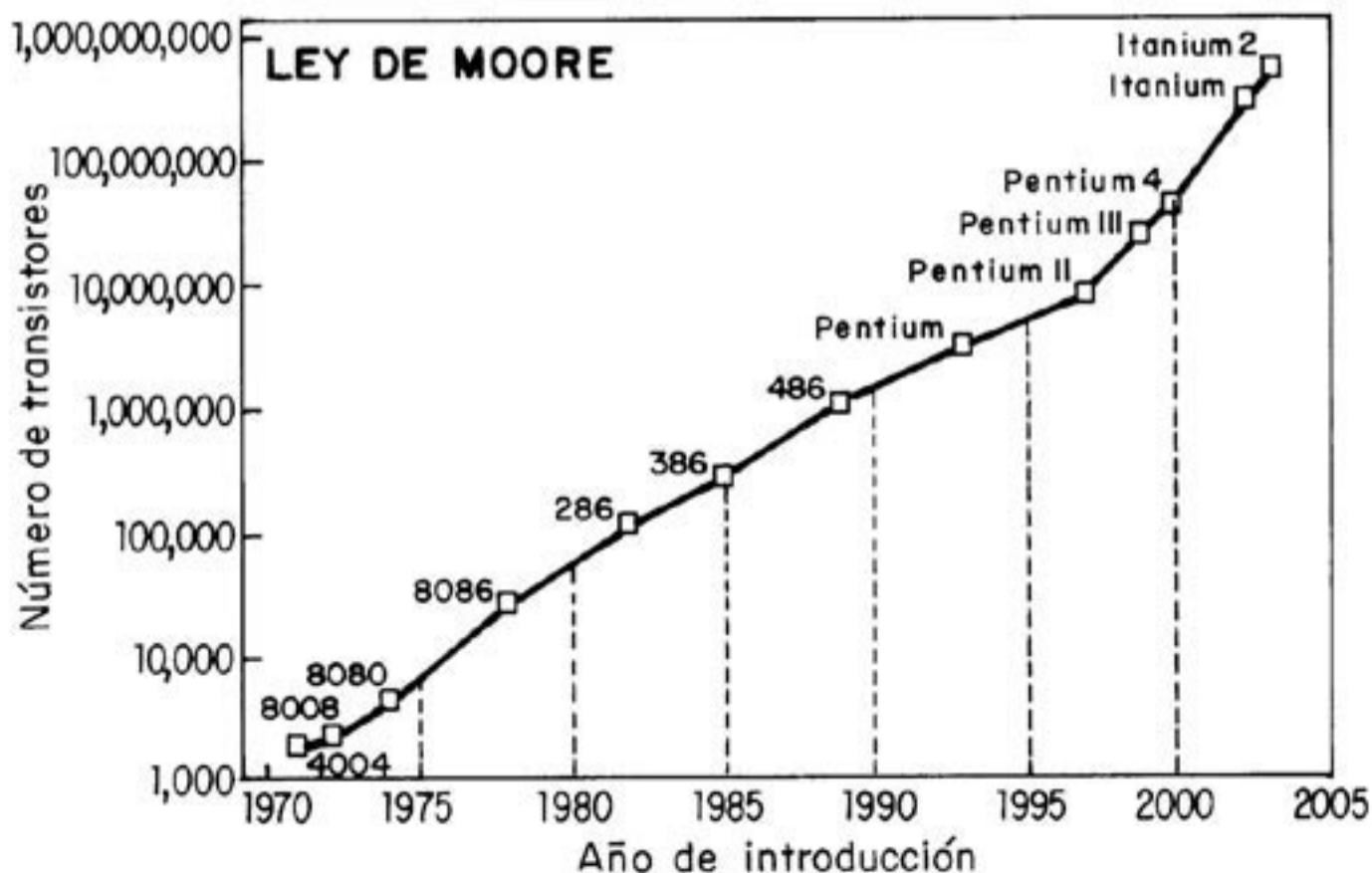
Los dispositivos basados en semi-conductores fueron diseñados porque con ellos es posible la construcción de interruptores o *switches* electrónicos, llamados transistores, que son mucho más rápidos (cambian de estado encendido/apagado a mayor fre-

cuencia), además que son mucho más pequeños y eficientes que los antiguos bulbos o "lámparas-switch" que solían usarse para esta función. Es muy probable que la mayoría de los lectores ya no hayan tenido la oportunidad de ver un radio o una televisión hecha con bulbos, ya que la tecnología de los transistores invadió masivamente el diseño de los aparatos electrónicos desde inicios de los años 1970. Esas TV de bulbos eran muy pesadas, consumían cantidades enormes de corriente eléctrica además de calentarse tanto, que a veces era necesario apagarlas para permitir que se enfriaran después de operar pocas horas. Los bulbos fueron rápidamente abandonados por la introducción de los circuitos integrados (o microchips) a principios de los años 70.

Los materiales de los cuales están hechos todos los dispositivos electrónicos de hoy en día contienen principalmente tres o cuatro tipos de materiales semi-conductores: silicio, germanio, y mezclas de galio y arsénico. La ventaja tecnológica que ofrecen estos materiales sobre los anteriores son muchas, una de las cuales es crucial: la altísima cantidad de transistores que es posible colocar en una superficie de  $5 \text{ cm}^2$ .

El año de 1958 marcó el inicio

de la construcción de microchips cuando se logró integrar una centena de transistores en un solo chip. Desde entonces la evolución en la densidad que es posible lograr por chip ha sido realmente sorprendente. En 1971 era posible integrar 2300 transistores por pulgada cuadrada, en 1980 era de 50000, en 1990 era de 1,100,000, en el año 2000 era de 30 millones y en 2008 era ya de ¡2000 millones de transistores por chip!. Variedades múltiples de estos chips están por todos lados, desde la laptop que puede comprarse en el supermercado, en el teléfono celular o el iPod que usamos todos los días, hasta la cámara digital que cuesta \$1500 pesos y tiene una resolución de 12 Megapixels ¿Puede el lector imaginarse el tamaño que debe tener un solo transistor para poder colocar 2 mil millones de ellos en una superficie de sólo  $6.2 \text{ cm}^2$ ? Evidentemente, estos avances sorprendentes han sido posibles gracias a innovaciones en la tecnología de fabricación que permiten manejar materiales con extrema precisión, actualmente ya a escala de decenas de nanómetros (1 nanómetro es igual a una millonésima parte de un milímetro). Aquí hay que hacer notar que en 1965 Gordon Moore (co-fundador de la empresa Intel) predijo que, manteniendo el costo mínimo de producción por cada transistor, el

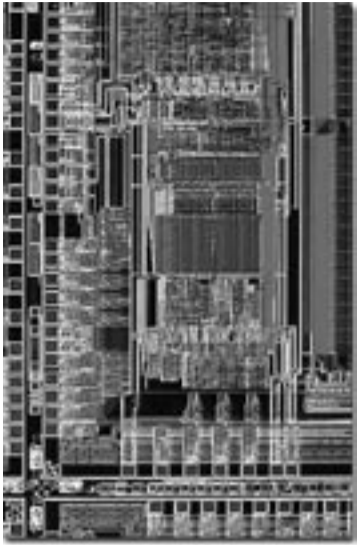


Ley de Moore

## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS:  
edacmor@ibt.unam.mx



Microprocesador (ampliado).

número de transistores por chip se duplicaría cada 18 meses. La gráfica muestra la evolución real que ha ocurrido en los últimos 40 años y el período de duplicación corresponde más precisamente a 20 meses; es crucial notar que el eje vertical está en escala logarítmica (esta escala usa potencias de 10 en vez de unidades a intervalos regulares). Existen también otras formulaciones similares a la llamada Ley de Moore que verifican el crecimiento exponencial con el tiempo de, por ejemplo, el número de transistores por circuito integrado, la densidad de transistores a costo mínimo por transistor, el costo por transistor (en este caso se trata de decrecimiento exponencial), el poder de cómputo (en millones de operaciones por segundo) por unidad de costo, el tamaño de los discos duros (memoria medida en Megabytes) a costo fijo, o el tamaño de la unidad de memoria interna de acceso aleatorio (RAM) a costo fijo.



La ley de Moore ha seguido vigente hasta fecha y algunos expertos de Intel predijeron en 2005 que seguirá vigente hasta el año 2015. Sin embargo, estamos llegando a un *impasse* práctico porque los procesadores más rápidos y con mayor número de transistores se calientan más. La velocidad de un procesador se mide usualmente en unidades de frecuencia como GigaHertz (1 GHz representa mil millones de ciclos por segundo), a pesar de ser una medida algo simplista que no toma en cuenta la arquitectura detallada de cada procesador. El lector avezado habrá notado que la velocidad de los procesadores en los últimos tres años ha permanecido prácticamente constante, en cuyo caso cabría preguntarse si realmente la Ley de Moore sigue vigente. En realidad la respuesta a la pregunta tiene que ver con el conflicto

que existe entre la rapidez (como ya vimos, ligada al problema de la generación de calor por los procesadores más rápidos) y la comodidad de los usuarios. Como el público no quiere andar cargando con un ventilador o una bomba de agua para enfriar sus computadoras, desde el año 2007 los fabricantes de computadoras personales y laptops prefieren mantener sus procesadores operando alrededor de los

2-3 Gigahertz a cambio de modificar la arquitectura y ofrecer al usuario mayor poder de cómputo a través de procesamiento en paralelo con los populares "núcleos múltiples", conocidos como *Dual-Core Quad-Core*, actuando como si la computadora tuviera dos o cuatro procesadores. Por otro lado, existen algunos avances notables que usan tecnologías radicalmente diferentes que podrían extender la validez de la

Ley de Moore más allá del año 2025, como por ejemplo, el transistor desarrollado por IBM y el Instituto Tecnológico de Georgia, hecho a base de silicio/germanio capaz de cambiar de estado a la vertiginosa velocidad de 500 GHz (¡quinientas mil millones de veces por segundo!). Desafortunadamente esta hazaña requiere que el transistor (uno solo, por el momento) se mantenga a la bajísima temperatura de 4.5 gra-

dos Kelvin, es decir a -268 grados centígrados. A pesar de algunas limitaciones en la actualidad, múltiples grupos de investigadores, tanto académicos como en empresas privadas, trabajan para mantener la Ley de Moore viva, por lo que es posible prever un futuro promisorio en este ámbito y que la aparición de desarrollos que todavía no podemos incluso imaginar abrirán las puertas a avances aún más sorprendentes.

## La Academia de Ciencias de Morelos (ACMor) y La Unión de Morelos convocan a los premios:

Premio al Mérito Estudiantil	Premio al Ensayo Científico Juvenil	Premio Profesor Distinguido
<p><b>Quiénes pueden participar:</b> Estudiantes que, hayan estado inscritos en una secundaria o en una institución de educación media superior del Estado de Morelos, hayan participado y sido distinguidos en competencias científicas internacionales durante el periodo 2009 - 2010.</p> <p><b>Qué se necesita:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Haber sido distinguido en, al menos, una competencia científica internacional en el periodo 2009-2010.</li> <li>• Cumplir con todos los requisitos y la documentación descritos en la página web: <a href="http://www.acmor.org.mx">www.acmor.org.mx</a></li> </ul> <p><b>Fecha límite:</b> 15 de octubre de 2010</p> <p><b>Premios:</b> Se elegirá un premio en cada una de las áreas de Matemáticas, Química, Física, Biología e Informática tanto en su modalidad para estudiantes de secundaria, como para la de estudiantes de educación media superior.</p> <p>Los ganadores recibirán un reconocimiento especial de la ACMor.</p> <p><b>Resultados:</b> El resultado se dará a conocer el día 5 de noviembre de 2010. Los ganadores serán contactados vía electrónica o telefónica para dar a conocer el fallo del jurado.</p>	<p><b>Quiénes pueden participar:</b> Estudiantes inscritos en una secundaria o en una institución de educación media superior del Estado de Morelos.</p> <p><b>Qué se necesita:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ser alumno inscrito de una secundaria o de una institución de educación media superior del Estado de Morelos pública o privada que cuente reconocimiento oficial.</li> <li>• Escribir un ensayo científico original, con una extensión entre 10,000 caracteres como mínimo y 15,000 caracteres como máximo escrito bajo pseudónimo, sobre algún tema dentro de alguna de las siguientes áreas: Matemáticas, Química, Física, Biología e Informática.</li> <li>• Cumplir con todos los requisitos y la documentación descritos en la página web: <a href="http://www.acmor.org.mx">www.acmor.org.mx</a></li> </ul> <p><b>Fecha límite:</b> 23 de agosto de 2010</p> <p><b>¡Nueva fecha límite!</b> <b>23 de septiembre de 2010</b></p> <p><b>Premios:</b> Se elegirá un premio por cada una de las áreas tanto en su modalidad para estudiantes de secundaria, como para la de estudiantes de educación media superior y podrá entregar menciones honoríficas a aquellos ensayos que considere pertinentes. El premio consistirá de \$ 9,000.00 M.N. para cada una de las categorías, un diploma y la publicación del ensayo.</p> <p><b>Resultado:</b> El resultado se dará a conocer el día 5 de noviembre de 2010. Los ganadores serán contactados vía electrónica o telefónica para dar a conocer el fallo del jurado.</p>	<p><b>Quiénes pueden participar:</b> Profesores que impartan clases en escuelas públicas o privadas a nivel secundaria y medio superior en las áreas de Física, Matemáticas, Biología y Química y se hayan distinguido por su labor en la promoción de la ciencia en alguna de las áreas mencionadas.</p> <p><b>Qué se necesita:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Haber desarrollado actividades que promuevan el desarrollo científico de sus estudiantes.</li> <li>• Contar con alumnos que en los últimos tres años se hayan distinguido por su participación en eventos académicos como son concursos estatales nacionales o internacionales.</li> <li>• Haber organizado eventos de divulgación de la ciencia dirigidos a estudiantes de nivel secundaria y medio superior.</li> <li>• Cumplir con todos los requisitos y la documentación descritos en la página web: <a href="http://www.acmor.org.mx">www.acmor.org.mx</a></li> </ul> <p><b>Fecha límite:</b> 15 de octubre de 2010</p> <p><b>Premios:</b> El premio consistirá de \$ 9,000.00 M.N.</p> <p><b>Resultado:</b> El resultado se dará a conocer el día 5 de noviembre de 2010. Los ganadores serán contactados vía electrónica o telefónica para dar a conocer el fallo del jurado.</p>

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

Más información en: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)