

La ley de Moore: Nada es eterno en la computación

Alejandra Diaz*, Diego Pineda* and Edgar Rangel*

Abstract—Moore’s Law was formulated by Gordon Moore after seeing the number of transistors in a processor from 1959 to 1965, the latter was the year in which the law was proposed, since then, has been fully met, but, many have questioned whether the end of this law has already arrived or if it is close to doing so. The best reason to conclude is understanding that computing is not forever and has a time limit.

RESUMEN

La ley de Moore fue formulada por Gordon Moore tras hacer la observación del número de transistores en un procesador desde el año 1959 hasta 1965, éste último fue el año en el que la ley fue propuesta, desde entonces, se ha cumplido a cabalidad, pero, muchos se han cuestionado acerca de si el fin de esta ley ha llegado ya o si está cerca de hacerlo. La mejor razón para concluir es entender que en la computación nada es eterno y posee un límite en el tiempo.

I. INTRODUCCIÓN

La ley de Moore, comenzó como una observación empírica realizada por el cofundador de Intel Gordon Moore, el número de componentes en un chip se duplica aproximadamente cada 2 años, se ha mantenido en pie durante más de 50 años, gracias al esfuerzo en la investigación que le concedió ser una de las leyes más conocidas e importantes de la computación. Se expondrá los argumentos para sustentar su cumplimiento, teniendo en cuenta no solo los chips como protagonistas de efectuar su cumplimiento si no al ecosistema informático, tal como el sistema de memorias (RAM, caché y disco duro) donde cada uno tiene su funcionalidad e armonía con el procesador para realizar desde tareas simples hasta complejas como la Big Data o Inteligencia Artificial, y a su adaptabilidad en la comunidad donde son un ente importante para ser aceptada o evolucionar las tecnologías y estándares de la misma ley, planteándose entonces la pregunta de si este postulado se cumpliera para "siempre" pero observando limitaciones como las descritas por la física como el

efecto quantum (Computación cuántica y reducción de tamaño de los transistores a nivel microscópico), las limitaciones energéticas (Búsqueda de mayor potencia manteniendo o reduciendo el consumo energético), las mismas limitaciones de los clásicos procesadores secuenciales (El dilema si la ley de Moore se aplica a los procesadores multinúcleo y la discontinuidad de la ley en procesadores de un solo núcleo), los cuellos de botella como la memoria caché que es aquella que me permite poner las solicitudes más cerca del procesador y diversas opiniones y datos.

Es entonces donde se empiezan a explorar alternativas como el procesamiento en paralelo de los cálculos y de los datos teniendo en cuenta también la totalidad del sistema. Investigar y observar la Ley de Moore desde otras perspectivas como procesos, hilos y aplicaciones. Por último se ahondó a cerca de los retos que implica superar estas limitaciones y en especial cómo contribuye el ingeniero de sistemas de la escuela de ingeniería de sistema de la universidad industrial de Santander y tratar de dar un reporte sobre el estado de la Ley de Moore, incluso se llegó a tomar la iniciativa de dar un veredicto definitivo sobre el estado de la ley de Moore.

II. MARCO TEORICO

La ley de Moore consiste en una ley empírica formulada por Gordon E. Moore en el año de 1965, aunque originalmente postulaba "La cantidad de transistores se duplicará cada año en un chip" se cumplió durante el periodo de 1965 a 1975, después, tuvo que reformular el tiempo de la ley a 2 años para terminar reformulando en cada 18 meses. Con esta última reformulación se logró mantener hasta el momento más de 50 años de cumplimiento de la misma en todos los ámbitos respecto a los chips o la computación. Por otro lado se ha logrado observar que esta ley traspasa las barreras de la computación y puede llegar a cumplirse en otros ámbitos como el crecimiento de dispositivos en internet o el crecimiento de transacciones. Colocando un ejemplo textual, los dispositivos de internet actualmente están siguiendo la tendencia "Internet Of Things" o "Internet de las cosas" que se caracteriza por el crecimiento exponencial de elementos conectados

* Estudiante de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia www.uis.edu.co

a Internet, es decir, se desea que desde los zapatos hasta las gafas están conectadas en Internet para poder monitorear y tener una vida más eficiente y controlada. Respecto a porque es un ejemplo claro de la ley de Moore en otros ámbitos, se debe a que esta tendencia ha mostrado un comportamiento exponencial en el cual la cantidad de direcciones IP van en un aumento casi similar al de Moore, aunque sabemos que esto no sera asi eternamente y que habrá un punto de quiebre para el crecimiento de direcciones IP en uso, o bien, el número de usuarios va requerir un número limitado de IP's que harán que se estanque en un punto.

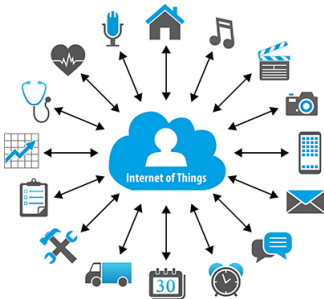


Fig. 1. La nueva moda del Internet de las Cosas.

Vale la pena recordar que la ley de Moore en su estricta formulación sólo se aplica al número de transistores y no a otros factores, lo cual fue predicho también por Moore.

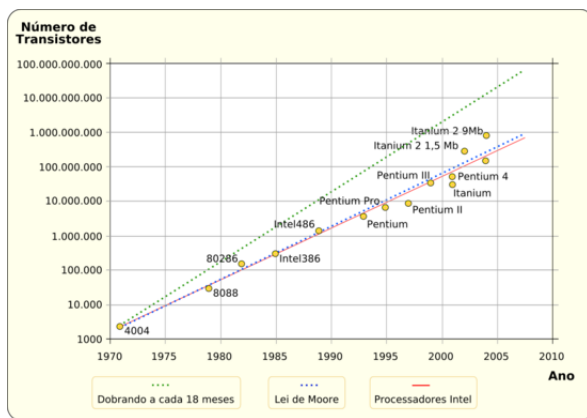


Fig. 2. La predicción de la ley de Moore a través del tiempo.

En la década de los noventa se enunció la segunda ley de Moore, ley que también es conocida como Ley de Rock cuya influencia ha sido paralela a la Ley de Moore. La ley de Rock asegura que cada cuatro años, el coste de las plantas de producción de chips basados en semiconductores se duplica, lo cual implica que el

precio de producción de cada chip que llega al mercado se incrementa de manera exponencial.

De la misma forma que la ley de Moore, durante los últimos años la ley de Rock se ha cumplido tal cual fue enunciada. A comienzos de siglo, la inversión en un planta de fabricación de semiconductores era de aproximadamente 14 mil millones de dólares. Mientras que, en 2015, empresas fabricantes como Samsung han anunciado una inversión de, en promedio, catorce millones de dólares. El crecimiento ha seguido aproximadamente lo enunciado por la ley de Rock.

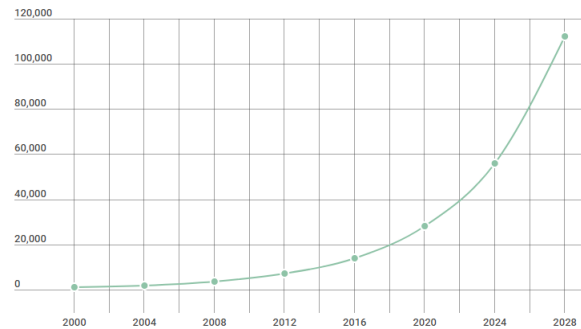


Fig. 3. La predicción de la ley de Moore a través del tiempo.

Parece que la ley de Rock no tiene nada que ver con la ley de Moore, pero de manera oculta, está limitando la ley de Moore en el sentido de que en mayor tiempo pase en el cumplimiento de la ley de Moore, se va presentar un costo aumentado para mantener la fábrica que realizará los chips, todos estos gastos pueden ser derivados en la investigación como en la maquinaria necesaria para su producción, haciendo necesario también el incremento en el precio de los chips cuando se venden. Pero el principal problema de todo es poder conocer porque se ha cumplido estas dos leyes.

Muchas pueden ser las razones para el cumplimiento de estas leyes, pero al realizar un rastreo detallado sobre este cumplimiento, detallamos primeramente que la ley de Moore a pesar de ser empírica, posee cierta consecuencia derivada dado que aumentar la cantidad de transistores dentro de un procesador aumentará la velocidad del procesador, incrementando el poder computacional (aunque actualmente aumentar el número de transistores aumenta el consumo energético, lo cual está en contra del movimiento utópico de computación verde bastante potente) y a su vez, generando nuevos retos para la ciencia de incrementar aún más este número de transistores dentro del chip (computación cuántica) así como lograr mantener un consumo energético bajo

y poder obtener el máximo desempeño con nuevas características derivadas como el paralelismo dentro del chip. Teniendo en cuenta lo anterior, vemos que el cumplimiento de la ley era necesario, aunque, también existe un factor asociado al comportamiento humano, en este caso colaborativo, donde se buscaba cumplir y mantener esta ley, algo así como colocarse un objetivo cada 18 meses de poder incrementar la cantidad de transistores dentro de un chip para ver que podía ocurrir en el futuro, con este factor humano se obtuvo la gran revolución de la computación (debido al gran crecimiento de los procesadores en poder y capacidad computacional junto a la revolución de las memorias y redes de transmisión de datos). Por último tenemos también el factor de la necesidad en el aumento de procesamiento (necesidad de rendimiento) dado que con la creación de los computadores, abrió un gran campo de investigación que generó nuevos conocimientos y ayudó a fortalecer otras áreas de la ciencia para el avance del mundo.

En cuanto a la ley de Rock tenemos otros factores distintos de la ley de Moore pero derivados de esta, comenzando con el enunciado de Moore, no es nada fácil lograr reducir el tamaño de los transistores para que ocupen el mismo espacio establecido desde que se creó el procesador. Todo el trabajo obtenido para reducir el tamaño de los transistores ha sido una larga investigación que ha derivado grandes costos a través de los tiempo y que de por sí, implican un incremento en el costo de las fábricas de producción de chips, generando el principal aumento del costo. Entrando en detalles otros gastos que van aumentando el costo de las fábricas es el incremento anual del salario de los empleados, como los costos variantes de las materias primas, etc. En última instancia recordamos que la ley de Rock sigue en vigencia, en cambio, la de Moore no ha podido continuar debido a las limitaciones cuánticas de la reducción de los transistores en tamaños de partículas atómicas, pero... teniendo en cuenta estos factores y asumiendo literalmente la ley de Moore que dice: "La cantidad de transistores se duplicará cada 18 meses en un chip" no podríamos afirmar correctamente ¿A que se refiere con chip?

III. DESARROLLO DEL PROBLEMA

Si bien conocemos que un chip puede corresponder tanto a un circuito integrado como un procesador, para delimitar el problema se va centrar a los chips como procesadores, es decir, que los chips dentro de la ley de Moore corresponde a los procesadores

(teniendo en cuenta que será de uso en este artículo pero realmente la ley de Moore tiene transcendencia de chip en chip). Actualmente los procesadores no logran aumentar la cantidad de transistores en sus núcleos ¿Porque? Esto es debido a la escala cuántica a la que llegó el tamaño de los transistores, pero como bien se sabe, los procesadores pueden poseer varios núcleos y varios hilos. Los hilos aumentan el rendimiento de los procesadores pero no tienen nada que ver con la ley de Moore, entonces si nos enfocamos en los núcleos ¿La existencia de varios núcleos dentro del procesador indica que la cantidad total de transistores internos es la suma total de cada uno de los núcleos? Puede que esta pregunta tenga un tono incorrecto y no es coherente con el tema del problema principal, pero en caso de que la respuesta fuera afirmativa se obtendría una solución y otra condición que permite el cumplimiento de la ley de Moore en la actualidad, entonces ¿Sería falso que la ley de Moore se ha dejado de cumplir? Realmente no, recordando que la ley de Moore posee trascendencia en los tipos de chips puede seguirse cumpliendo, por ejemplo, la ley no se cumple a nivel de procesadores pero en cuanto a los circuitos integrados se sigue cumpliendo ya que se puede aumentar la cantidad de transistores dentro del mismo. Asumiendo que la respuesta a la primera pregunta es afirmativa, se puede concluir que la ley de Moore sigue en vigencia, sin embargo, agregar más núcleos puede llegar a seguir cumpliéndola, no obstante, aumentar la cantidad de núcleos no mejora el rendimiento de los equipos, ya que se debe tener en cuenta el ancho de banda en la comunicación con los demás componentes del equipo y los sistemas de refrigeración por la cantidad de energía disipada que causaría aumentar el rendimiento, por lo que también ha llegado un punto donde se estancara. Por el momento se ha podido afirmar que la ley de Moore no ha muerto, aún, pero sin embargo se conoce de un problema a futuro... ¿Se va cumplir infinitamente?

En 2015, la ley de Moore cumplió 50 años de su formulación, durante dicho tiempo se cumplió a la perfección, a partir de entonces, muchos han sido los cuestionamientos acerca del fin de la ley de Moore. El 9 de febrero de 2016, la revista Nature publicó el artículo llamado "The chips are down for Moore's law", en el cual, se aseguraba que, en marzo de 2016, la industria mundial de semiconductores reconocería formalmente que la ley de Moore estaba llegando a su fin. También el artículo menciona que la duplicación de transistores ya presentaba fallas debido a la alta temperatura que generaba la gran cantidad de circuitos de silicio en un

área tan reducida. El mapa de ruta de la industria de semiconductores establecía un plan de investigación y desarrollo que ya no se basaría en la ley de Moore, sino que seguiría una estrategia denominada “More than Moore”, la cual, en lugar de mejorar los chips y dejar que las aplicaciones sigan igual, comenzará con aplicaciones desde teléfonos inteligentes hasta centros de datos en la nube y trabajará hacia abajo para ver qué chips se necesitan en dichas aplicaciones. Entre esos chips estarán sensores de nuevas generaciones, circuitos de administración de energía y otros dispositivos de silicio.

Por otro lado, aunque el mismo Gordon Moore en 2010, en una entrevista con el medio Techworld afirmó que su ley había quedado obsoleta; Simón Viñals, director de Tecnología de Intel, el fabricante líder de microprocesadores en el mundo asegura que actualmente la empresa sigue cumpliendo la ley de Moore y que tiene previsto hacerlo al menos por los próximos siete años. Entonces ahora entra en cuestión las investigaciones y sus resultados para mantener en vigencia la ley o darla por acabada, debido a que se presenta dificultad cada vez más para poder reducir el tamaño de los transistores, llevándonos a los dos extremos de donde puede aplicarse la ley de Moore: Procesadores cuánticos o Procesadores paralelos, cualquiera de estos dos caminos pueden expandir y continuar llegando a cumplir la ley de Moore hasta cierto punto, es decir, que no importa el esfuerzo sobre humano que se realice, en la computación nada es eterno y mucho menos una ley que ya va alcanzar los límites físicos, entonces se podría decir que la ley va morir definitivamente, tarde o temprano aunque todo lo malo tiene su lado bueno oculto. La ley de Moore ha sido una gran aliada para aumentar el poder de procesamiento y abrir nuevos caminos científicos en el campo de la computación donde en la siguiente figura podemos ver como ha crecido la capacidad de los computadores para procesar tareas dejadas por el hombre.

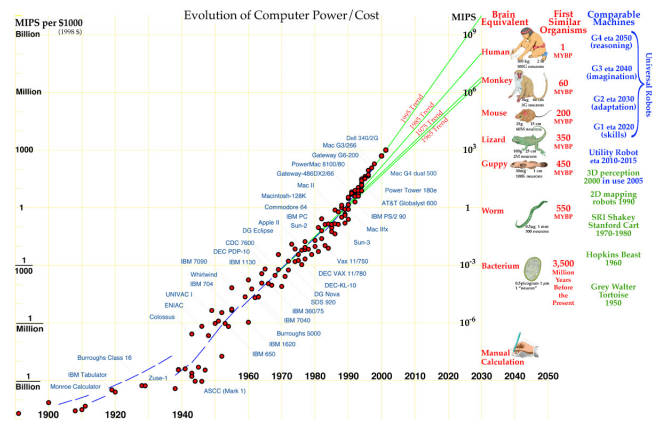


Fig. 4. Poder computacional a través del tiempo.

Lo que se puede predecir corresponde a que la Ley de Moore sufrirá transformaciones en sus postulaciones a lo largo del desarrollo computacional, depende de la tecnología base que se encuentre en un momento determinado. Por otro lado la ley de Moore es importante como elemento de medición para saber el límite de la tecnología de procesamiento usada e implica un punto de partida del reto para investigar cómo seguir mejorando el rendimiento de las máquinas. Entonces definiendo esto, se podría afirmar que la ley de Moore tiene mucho por ayudar y colaborarnos, sin embargo surge otro problema correspondiente al factor humano, donde la adaptación de la gente a las nuevas personas pueden afectar en una tecnología.

Que la gente falle al adaptarse a la tecnología es una escenario poco probable ya que unos de los requisitos para desarrollar tecnología es que debe ser de “fácil” uso para el sector (industrial, comercial, tecnológico, entre otros) y que no necesariamente tengan conocimientos avanzados sobre los mismos. Si la gente falla al adaptarse, se puede decir que la tecnología fracasa, lo que conlleva a pérdidas económicas tanto para los usuarios como para los fabricantes. También lleva a identificar las causas de la falla, realizar una reevaluación del diseño, analizar si es viable comercialmente, teniendo en cuenta el pasado o plantear la posibilidad de otro tipo de tecnología, teniendo en cuenta que la anterior no fue el camino correcto. Sin embargo el factor humano en la tecnología es influyente en el aspecto de que puede determinar si una tecnología puede estancarse o seguir avanzando, el por qué se debe a que tecnologías muy exitosas pueden generar un estancamiento debido a su simplicidad y efectividad, por lo contrario, a menos que surja un problema realmente imposible que

no lo pueda solucionar la misma generará un nuevo cambio o mejora de la misma, por ejemplo, en la actualidad los lenguajes de programación que se usan son antiguos, sin embargo, a pesar de su tiempo en funcionamiento son ampliamente usados y con muchas ventajas, algunos murieron y otros sobreviven como C, C++, etc, por lo que el dilema que se presenta, es que a pesar de que hayan surgido nuevos lenguajes de programación, se presenta estancamiento por su amplio uso, es decir, que el nuevo objetivo de la programación va apuntada al rendimiento por medio de la programación paralela (nuevos lenguajes) sin embargo, los lenguajes antiguos han buscado adaptarse con éxito y se mantienen como tecnología estancando a las demás generando un desperdicio de nuevas oportunidades que se hubieran podido obtener con las otras tecnologías. Retomando el punto del problema, el factor humano determina que tanto una tecnología avanza o se estanca en el tiempo, por ende, la ley de Moore ha sido muy influenciada por el factor humano que busca mantenerla, es decir, que a pesar de ser formulada hace mucho tiempo, las personas buscan mantener esta ley viva, debido a su gran influencia en el desarrollo de poder computacional o procesamiento, así como las nuevas líneas de ciencia que surgieron gracias a la ley de Moore, sin embargo, todo tiene un límite y la ley de Moore lo ha alcanzado.

Si se tuviera en cuenta las limitaciones de la ley de Moore, se notará que el primer inconveniente y del cual surgen las demás limitaciones, consiste en el problema de tamaño, es decir, que ya es físicamente hacer transistores más pequeños que actúan de la misma manera que un transistor normal, debido a que los transistores ya están llegando a niveles cuánticos donde los elemento del mundo macroscópico dejan de actuar igual en el mundo microscópico, por otro lado, esta disminución de tamaño también supone un problema energético como de procesamiento porque colocar más transistores puede aumentar la capacidad de procesamiento, sin embargo, este sería un procesamiento secuencial que actualmente se está buscando disminuir debido a su ineficiencia para la ejecución de los programas en software. Con esto se puede notar la siguiente limitación, que corresponde al paralelismo y Moore, en sus inicios los procesadores eran secuenciales y de bajas frecuencias, luego de un aumento de los transistores en el procesador se logra mayores velocidades para las mismas tareas secuenciales, incluso, hoy en día los procesadores

tienen gran velocidad para las tareas secuenciales aunque las cargas de trabajo del software han incrementado, son tantas las tareas secuenciales que de hecho pareciera que el procesador se queda atrasados con respecto al software aunque es el software que puede llegar a ejecutar la misma tarea muchas veces en este, que genera un ciclo casi interminable debido a la gran cantidad de datos que debe generar. Por otro lado, el paralelismo se planteó con la idea de “divide y vencerás” ya que poder aprovechar el uso de más núcleos o hilos, permite realizar las mismas tareas secuenciales, pero de forma más optimizada al poder calcular por aparte datos independientes que luego serán unidos para un procesamiento continuo y optimizado, entonces se puede decir que la ley de Moore en varios núcleos se aplica como un solo procesador... Básicamente entre más núcleos se tengan en un procesador, se posee más transistores, algo que ocurre totalmente contrario a los hilos, porque estos no son más núcleos, sino la utilización de diferentes niveles de corriente en los transistores para simular a nivel de software más núcleos. Para concluir por este lado se puede decir que la limitación fundamental de la ley de Moore es con respecto al incremento de números, una cosa es una secuencia infinita de crecimiento y otra totalmente a parte, es tomar la realidad e intentar aplicarla, debido a que en la realidad nada (excepto el tiempo) tiene esta tendencia al infinito.

Si bien, lo anterior aún no convence por completo, se puede observar la siguiente imagen que corresponde a la arquitectura del procesador Intel Xeon E5-2600, el cual muestra 8 núcleos con un módulo de memoria caché compartida, una entrada PCI Express 3.0 y los demás componentes.

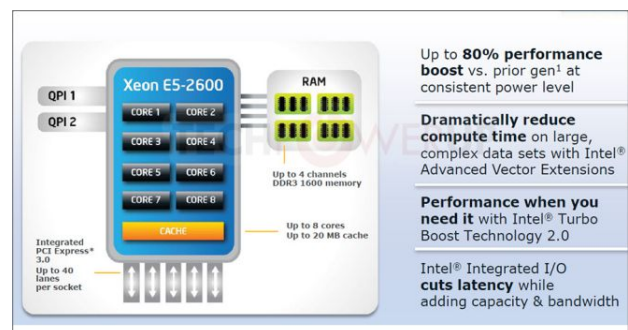


Fig. 5. Arquitectura del procesador Intel Xeon E5-2600.

La razón de esta imagen, se debe en efecto a mostrar que un “chip” corresponde al conjunto de

8 procesadores como si fuera uno solo, es decir, que la ley de Moore se aplica naturalmente a un procesador que esté conformado por 8 procesadores y a su vez, en caso extremo, cada procesador pueda tener más procesadores. Lo que quiere decir que la ley de Moore se puede aplicar a capas externas del procesador como internas, aunque, existen dos límites correspondientes para poder seguir llamando ciertos elementos procesadores y otros simplemente transistores.

Por otro lado los procesadores secuenciales no poseen varios núcleos y únicamente puede que lleguen a realizar tareas multihilo, pero aun posee transistores, no tantos como un multinúcleo pero de ellos se empezó toda la era de la computación, por ejemplo la siguiente imagen muestra todo el procesador de un Intel Pentium 4 con todos sus transistores y los sectores que ellos definieron para realizar los cálculos.

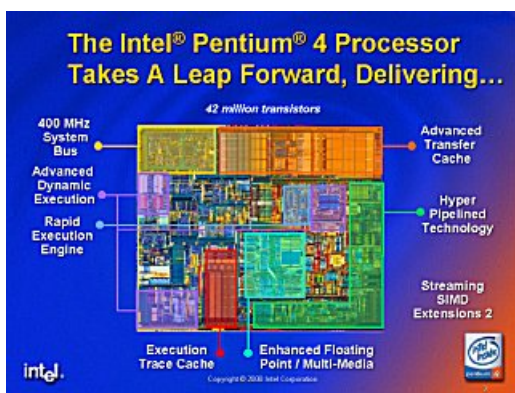


Fig. 6. Arquitectura del procesador Intel Pentium 4.

Un procesador secuencial se caracteriza por ser un solo núcleo y tener gran capacidad para tareas secuenciales, pero realmente se queda atrás en cuanto a los paralelos, en otras palabras, lo que se trata de definir, es que la ley de Moore se quedó atrás para los procesadores secuenciales porque no posee más forma de agregar transistores en ellos, incluso, no van a mejorar el rendimiento de los equipos ni nada por el estilo. En cambio, los procesadores multi núcleo son los actuales afectados por la ley de Moore pero, tarde o temprano, se verán afectados y llegarán a un límite y solo el tiempo lo dirá, pero no se sabe a ciencia cierta si la ley se podrá seguir cumpliendo en un par de años.

Retomando a la ley de Moore, el número de tran-

sistores en un circuito integrado se duplica cada 18 meses, pero en un computador hay diferentes elementos que tratan de mantener ese mismo ritmo, unos lo logran y otros no. Los procesadores han mantenido ese crecimiento, razón por la cual el cuello de botella de la ley no son los procesadores, sino los componentes del computador (Memoria RAM, la memoria caché, disco duro, etc), que son elementos que toman un rol importante en el rendimiento. Bien se conoce que la memoria RAM es un intermediario cercano al procesador que guarda datos importante de los programas para ser cargados rápidamente por el procesador y trabajarlos, o bien la gran biblioteca como el disco duro que almacena absolutamente toda la información necesaria por el computador para poder trabajar correctamente, incluso la memoria caché que actúa de la mano del procesador brindándole datos cercanos al procesador (mucho más rápido que la RAM) para que este conozca qué tareas realizar o registros que deba usar, por último, tenemos los canales de comunicación entre los componentes, si bien se busca que cada componente esté lo más cerca posible, también se busca que el canal por donde pasan los datos sea bastante amplio para el gran manejo de información como veloz para que simule cada componente exactamente pegado uno del otro y brinde los datos necesarios en el menor tiempo posible.

Hoy en día los procesadores son tan potentes que las memorias a duras penas son capaces de mantener el caudal de datos que necesitan manejar esas CPUs y GPU's. En especial las GPU's que en vez de recibir cantidades mínimas de datos pero muy seguidas, buscan es obtener una gran cantidad de información de un solo golpe, no tan seguido pero si lo necesario para brindar una forma óptima de procesar los datos como videos o gráficos en los videojuegos. En la siguiente figura se muestra un gráfico con respecto a la relación del crecimiento entre el desempeño de las CPUs y las memorias.

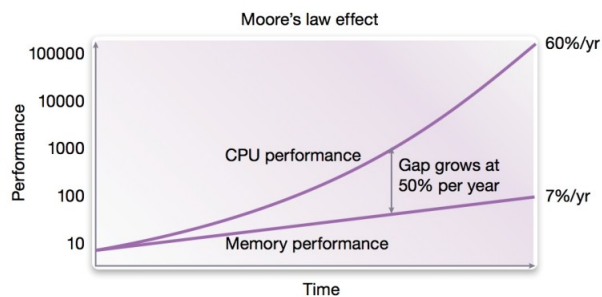


Fig. 7. Poder computacional vs memorias en el tiempo.

Si bien el desempeño en el hardware es importante, el software por su lado juega un papel muy importante en el rendimiento de un computador y debería avanzar al mismo ritmo que el hardware, pero esto no siempre se cumple, razón por la que el padre de lenguajes de programación como Pascal o Modula, Niklaus Wirth en 1995 con su artículo “A Plea for Leaner Software” recalca dos tendencias que apreciaba en el software de la época: El software se expande para ocupar todo el espacio disponible y el software se ralentiza con mayor velocidad de lo que se acelera el hardware. Esta última afirmación, llevaba consigo un contraste a la ley de Moore, por eso fue llamada Ley de Wirth. Más de veinte años después, se evidencia que el software no se construye buscando aprovechar del todo los avances del hardware.

Shekhar Borkar, empleado de Microsoft dijo que “El software tiene que empezar a seguir la ley de Moore, tiene que doblar la capacidad de paralelismo que pueda usar cada dos años”. Esto siempre ha sido un reto muy grande para la industria que aún no logra superarlo del todo.

Gene Amdahl, diseñador de computadoras de IBM, se dio cuenta que solo algunas de las instrucciones se pueden acelerar mediante la ejecución paralela. De esto se derivó la Ley de Amdahl para expresar el potencial de aceleración de un conjunto de n procesadores (núcleos) trabajando en un programa. Pero la Ley de Amdahl no tiene en cuenta el paralelismo inherente a los datos, que es común en las aplicaciones de uso intensivo de los datos como Facebook o Twitter entre otras, en este caso, aunque estas tengan una pequeña parte en serie, agregar núcleos aumenta el trabajo computacional en proporción directa al número de núcleos.

La Ley de Gustafson modela la computación paralela de los datos, donde la aceleración se mide con el tamaño de los datos, no con la cantidad sentencias paralelas presentes en el algoritmo. A nivel del sistema, siempre que las aplicaciones contienen muchas tareas paralelas, siempre hay trabajo disponible para los nuevos núcleos en los sistemas de próxima generación.

Por ende el paralelismo de datos y sus variantes es la razón por la cual los sistemas multinúcleo pueden seguir duplicando la producción sin aumentar la frecuencia del reloj, es decir, que el paralelismo

de datos permite agregar más núcleos dentro del procesador para obtener más transistores y seguir cumpliendo la ley de Moore mientras no incrementa la velocidad de reloj, sino el poder computacional paralelo para nivelar las demandas del software con el hardware y poder llegar a un balance que permite aumentar el desempeño de las aplicaciones y a su vez, el desempeño de aplicaciones tan pesadas como la inteligencia artificial o Big Data.

Los mayores retos que presenta el crecimiento exponencial computacional es que cada vez se desarrollan nuevas, mejores y más eficientes tecnologías que, a la vez que satisfacen, también incrementan las necesidades de las personas que se ven afectadas positivamente por estas tecnologías; también requiere estar siempre al tanto de los nuevos avances y desarrollos que se dan en la computación moderna para poder avanzar en conocimiento al mismo ritmo que lo hace la tecnología.

En cuanto a los nuevos desarrollos computacionales se hace necesario que el resto de componentes del computador, principalmente los pertenecientes al software, avancen al mismo ritmo que lo hace el hardware para poder aprovechar al máximo el rendimiento que da éste último y que no se convierta en un cuello de botella que impide un progreso total en eficiencia y rendimiento en el computador, por el contrario, sirva como impulso para el mejoramiento de las tecnologías y aplicaciones que ya existen y para el desarrollo de nuevas.

Para afrontar estos retos, la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander está en constante investigación en búsqueda de nuevas tecnologías y aplicaciones, lo cual deriva en el desarrollo de las mismas y en una mayor eficiencia de muchos de los procesos que se llevan a cabo en la universidad, por ejemplo, las tecnologías de información que se emplean y los sistemas que facilitan la interacción entre estudiante y universidad.

IV. CONCLUSIONES

En el sentido estricto de la formulación de la Ley de Moore, ha muerto, esta se dejó de cumplir para los procesadores, debido a las implicaciones físicas, que fueron mencionadas por el nobel Richard Feynman como el límite quantum y que fueron corroboradas en

los últimos años.

Por otro lado hay que resaltar que la formulación de esta ley marcó una medición para impulsar el desarrollo de la tecnología permitiendo mejor rendimiento de la máquina ya que este avance a nivel del procesador no podía realizarse, sólo debía ir de la mano con las mejoras de otros componentes importantes como las memorias y los canales de datos. También la importancia que representa para la llamada economía digital, ya que esta permitió que las industrias sostengan sus mercados.

Más que hablar de la muerte de la Ley de Moore, se podría hablar de una transición, replantear, conservando su razón de ser, el crecimiento exponencial ya que este comportamiento no solo se ha visto en los procesadores sino también en la velocidad de computación, cálculos por kilovatio hora, procesamiento en otros ámbitos como el número de direcciones IP asignadas, el número de vídeos subidos a YouTube entre otros. El transistor revolucionó la industria, y ¿Hará falta una perturbación de estas dimensiones para pensar en una reformulación?

Se concluye que es probable que el proceso de crecimiento exponencial continúe a través de múltiples tecnologías para las décadas que vienen.

REFERENCES

- [1] Denning, Peter J. and Lewis, Ted G. Exponential Laws of Computing Growth, 2017. *Communications of the ACM*, vol. 60.
- [2] 50 años de la ley de Moore, quizás la "ley" más incomprendida de la tecnología, 2015; <https://www.xataka.com/componentes/50-anos-de-la-ley-de-moore-la-quizas-ley-mas-incomprendida-de-la-tecnologia>. *Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica*
- [3] Rivera, Nicolás. La Ley de Rock, o "segunda Ley de Moore", 2016; <https://hipertextual.com/2016/01/segunda-ley-de-moore>. *Hipertextual*
- [4] The chips are down for Moore's law, 2016; <http://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338>. *Nature News, Nature Publishing Group*
- [5] E. Arrieta and Osc. La 'Ley de Moore' seguirá viva hasta 2023, según Intel, 2017; <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2017/07/05/5953a11c268e3e1d718b4873.html>. *Expansi*
- [6] La Ley de Wirth, la "Ley de Moore inversa" del software, 2014; <http://informatica.blogs.uoc.edu/2014/05/22/la-ley-de-wirth-la-ley-de-moore-inversa-del-software>. *Informatica*
- [7] La Ley de Wirth, la "Ley de Moore inversa" del software, 2014; <http://informatica.blogs.uoc.edu/2014/05/22/la-ley-de-wirth-la-ley-de-moore-inversa-del-software>. *Informatica*
- [8] El software y la ley de Moore, 2017; <https://www.orlandoalonzo.com.mx/tecnologia/el-software-y-la-ley-de-moore/>. *Consultorio del Dr. Ogalinski*
- [9] El cuello de botella de la ley de Moore no está en los procesadores, sino en las memorias, 2015; <https://www.xataka.com/ordenadores/el-cuello-de-botella-de-la-ley-de-moore-no-esta-en-los-procesadores-sino-en-las-memorias>. *Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica*
- [10] Zavia, Matías S. La ley de Moore resiste: Intel anuncia que fabricará procesadores de 7 nanómetros, 2017; <https://www.xataka.com/ordenadores/el-cuello-de-botella-de-la-ley-de-moore-no-esta-en-los-procesadores-sino-en-las-memorias>. *Gizmodo en Español*
- [11] Zahumenszky, Carlos. Se acabó el tick-tock: la ley de Moore comienza a fallar, 2015; <http://es.gizmodo.com/se-acabo-el-tick-tock-la-ley-de-moore-comienza-a-falla-1718182144>. *Gizmodo en Español*
- [12] Kaby Lake, 2017; <https://es.wikipedia.org/wiki/KabyLake>. *Wikipedia, Wikimedia Foundation*