

La primer gran crisis de semiconductores del siglo XXI

The first major semiconductor crisis of the 21st century

¹Clara Iliana Martínez Gómez , ²Luis Abraham Sánchez Gaspariano

¹Sin adscripción.

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica
Av. San Claudio y 18 Sur Edif. FCE1 Col. San Manuel
Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. CP 72570.

c.iliana.mg@gmail.com
luis.sanchezgaspariano@viep.com.mx

Resumen

La actual crisis de semiconductores no es un fenómeno nuevo, han existido ya otras crisis en el pasado; sin embargo, la que se encuentra en curso tiene elementos inusitados que la hacen única en su tipo y de gran complejidad. Existe la idea generalizada que el principal factor que derivó en esta situación crítica ha sido la pandemia de la Covid-19, no obstante, este es sólo uno de otros tantos que se han concatenado para exacerbar este fenómeno, cuyas repercusiones económicas han puesto de manifiesto la dependencia de la sociedad actual hacia la tecnología.

Abstract

The current semiconductor catastrophe is not a new phenomenon, there have been some other crises in the past. Yet, the actual one is due to unusual highly complex events that make it one of a kind. For some reason, there is a general idea that the main factor causing this critical situation was the Covid-19 pandemic; nevertheless, this was just one event of many others who played a role to exacerbate this anomaly, whose economic repercussions have revealed the dependence of today's society on technology.

Palabras clave

Crisis de semiconductores, Covid-19, Ucrania, Cadena de suministro, Taiwán.

1 Introducción

A partir de la década de los años setenta del siglo pasado, la miniaturización de los dispositivos semiconductores seguía la ley de Moore (Arden, 2017), la cual describe un círculo virtuoso: mediante el escalamiento de los transistores que integran a los sistemas electrónicos, se obtiene una mejor relación rendimiento-costo de los productos que contienen a estos sistemas, lo cual induce un crecimiento exponencial del mercado de semiconductores. A su vez, esto permite una mayor inversión en el desarrollo de tecnologías de semiconductores que continuarán impulsando el escalamiento. La ley de Moore funcionó bien cuando la longitud mínima de los transistores fue de 10 micrómetros en 1971, y hasta que ésta llegó a ser de 10 nanómetros en el 2016; es decir, en 45 años se tuvo un factor de escalamiento de 10,000.

A partir de 2017, la demanda de dispositivos conocidos como More-than-Moore empezó a acaparar el mercado, desplazando el círculo virtuoso que estuvo vigente en la industria de semiconductores por casi 5 décadas. Estos dispositivos More-than-Moore, fabricados en tecnologías nanométricas, se conocen como System-on-a-Chip (SoC) y están presentes en una gran variedad de sistemas electrónicos de consumo, como es el caso de teléfonos móviles, tabletas, ordenadores, unidades de control electrónico para vehículos y procesadores gráficos para consolas de videojuegos, por nombrar algunos.

Antes de los SoC se tenían chips montados en tarjetas (SMD), los cuales se interconectaban de algún modo con otros SMD para construir sistemas de mayor envergadura. Eventualmente, la miniaturización permitió integrar más sistemas apilando chips a través de sus empaquetados (SiP). La Figura 1 ilustra la línea de tiempo del escalamiento de la tecnología de circuito integrado.

Durante las últimas tres décadas, la industria de los semiconductores ha experimentado un rápido crecimiento y ha generado un enorme impacto económico. El mercado de semiconductores creció a una tasa anual compuesta del 7.5 % entre 1990 y 2020, superando el crecimiento del 5% del PIB mundial durante ese tiempo (Varas, 2021). El desarrollo vertiginoso de la tecnología de dispositivos semiconductores no ha sido un camino fácil, en más de una ocasión a través de los años ha enfrentado crisis que han puesto en jaque a la industria de la electrónica y, en mayor o menor medida, a todos los actores involucrados en ella. La última de esas situaciones graves en la industria de los chips, primera gran crisis de semiconductores del siglo XXI, empezó en el 2020 y aún no se tiene claro cuándo acabará. El presente trabajo describe las causas que la originaron, ya que existe la creencia generalizada que la pandemia de la Covid-19 ha sido el principal problema, pero en realidad hay más factores que han influido en la situación actual.

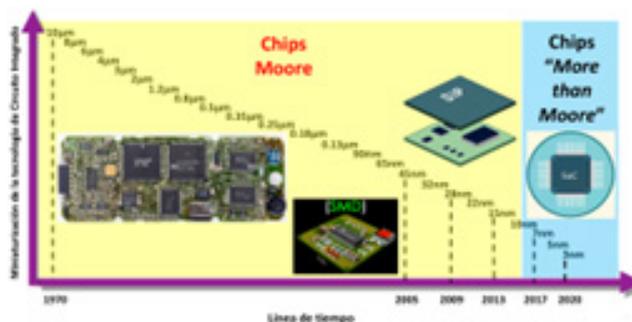


Figura 1. Línea de tiempo de la miniaturización de la tecnología de circuito integrado

2 La industria de los semiconductores hoy en día

Los semiconductores son productos muy complejos de diseñar y fabricar. La necesidad de conocimientos técnicos profundos ha dado como resultado una cadena de suministro global altamente especializada, en la que distintas regiones desempeñan diferentes roles de acuerdo con sus ventajas comparativas (Filippo, 2022). Por ejemplo, Estados Unidos es líder en investigación y desarrollo (I+D), lo que incluye el desarrollo de herramientas para la automatización del diseño electrónico (EDA por sus siglas en inglés), la generación de núcleos de propiedad intelectual (IP por sus siglas en inglés), y el diseño de chips y equipos de fabricación avanzados. Todo ello gracias a sus universidades de clase mundial y sus talentosos e innovadores grupos de ingeniería. Por otra parte, el este de Asia, en Corea del Sur, Japón y Taiwán principalmente, está a la vanguardia en la fabricación de obleas, lo que requiere inversiones de capital masivas respaldadas por incentivos gubernamentales, así como acceso a una infraestructura sólida y mano de obra calificada. Y China es líder en ensamblaje, empaquetado y pruebas, lo que requiere relativamente menos habilidades y capital, pero está invirtiendo agresivamente para expandirse a lo largo de la cadena de valor.

Todos los países involucrados son interdependientes en esta cadena de suministro global, y están sujetos al libre comercio para mover materiales, equipos, propiedad intelectual y productos de todo el mundo a la ubicación óptima para realizar cada actividad. De hecho, los semiconductores son el cuarto producto más comercializado del mundo después del petróleo crudo, el petróleo refinado y los automóviles. Sin pérdida de generalidad y desde una perspectiva de mercado, los semiconductores se pueden clasificar en tres categorías (Varas, 2021):

1. Dispositivos lógicos (42% de ventas) – incluye microprocesadores, microcontroladores, dispositivos lógicos de propósito general como los FPGAs, y productos para la conectividad alámbrica e inalámbrica.
2. Memorias (26% de ventas) – incluye memorias de acceso aleatorio dinámico (DRAM) y memorias no volátiles tipo NAND.
3. Dispositivos discretos, analógicos, y de otro tipo (DAO, por sus siglas en inglés, 32% de ventas) – incluyen diodos, leds, transistores de potencia, reguladores de voltaje, convertidores de datos, dispositivos de radiofrecuencia y sensores de diversos tipos.

Esta categorización se ilustra en la Figura 2 mostrando algunos ejemplos de la medida en que integran diferentes sistemas electrónicos.



Figura 2. Composición de las ventas de semiconductores según tecnología y mercado destino (2019). Fuente (Filippo, 2022).

Por otro lado, la cadena de valor de la industria involucrada en la creación y producción de cualquier semiconductor, extraordinariamente compleja y globalizada, consta de siete peldaños (Filippo, 2022):

1. Investigación precompetitiva - por lo general, es investigación básica en ciencia e ingeniería, cuyos resultados normalmente se publican y comparten ampliamente dentro de la comunidad científica, a diferencia de la investigación patentada y del desarrollo, diseño y producción industrial.
2. Diseño - se basa en software EDA altamente avanzado, bloques de construcción a nivel transistor reutilizables y, en algunos casos, servicios de diseño de chips subcontratados proporcionados por proveedores de tecnología especializados.
3. Fabricación - las instalaciones de fabricación de semiconductores altamente especializadas, generalmente llamadas “fabs”, imprimen los circuitos integrados a escala nanométrica del diseño del chip en obleas de Silicio. Cada oblea contiene varios chips del mismo diseño. La cantidad real de chips por oblea depende del tamaño del chip específico: podría variar entre cien de los grandes y complejos procesadores que alimentan las computadoras o los teléfonos inteligentes, hasta cientos de miles de pequeños chips destinados a realizar una función simple.
4. Ensamblaje - esta etapa consiste en convertir las obleas de Silicio producidas por las fábricas en chips terminados que están listos para ensamblarse en dispositivos electrónicos. Las empresas involucradas en esta etapa primero cortan las obleas de Silicio en chips individuales. Luego, los chips se empaquetan en marcos protectores y se encierran en una cubierta de resina. Los chips se someten a pruebas más rigurosas antes de enviarse a los fabricantes de dispositivos electrónicos.
5. EDA y núcleo de IP - los proveedores de núcleo de IP licencian diseños de componentes reutilizables, comúnmente llamados “bloques de IP”, con una interfaz y funcionalidad definidas para que las empresas de diseño las incorporen en sus diseños de chips.
6. Equipo y herramientas - la fabricación de semiconductores utiliza más de 50 tipos diferentes de sofisticados equipos de prueba y procesamiento de obleas proporcionados por proveedores especializados para cada paso del proceso de fabricación.
7. Materiales - La fabricación de semiconductores utiliza hasta 300 diferentes materiales, muchos de los cuales también requieren tecnología avanzada para producirse. Por ejemplo, se requiere que el polisilicio empleado para fabricar el lingote de Silicio que luego se corta en obleas tenga un nivel de pureza 1000 veces mayor que el nivel requerido para fabricar los paneles de energía solar, y lo proporcionan principalmente solo cuatro empresas.

3 Antecedentes de crisis de semiconductores en el pasado

La concentración excesiva en una única zona geográfica para la fabricación de chips expone a la industria a riesgos por fallas, las cuales pueden ser ocasionadas por desastres naturales, defectos en la infraestructura, ataques cibernéticos o fricciones geopolíticas, desde aranceles y controles de exportación hasta incluso bloqueos de suministro como resultado de embargos amplios o conflictos

armados. Algunos ejemplos de tales fallas ocurridas en las últimas 2 décadas se enlistan a continuación (Varas, 2021):

- La explosión de una fábrica química de Sumitomo en Japón en 1993 afectó al 60% del suministro mundial de resina epoxi, y los precios al contado de los chips de memoria DRAM en el mercado estadounidense se dispararon de un promedio de \$30/megabyte a \$80/megabyte.
- Un fuerte terremoto en el centro de Taiwán en septiembre de 1999 provocó un cierre de seis días del Parque Científico de Hsinchu, debido a cortes de energía. Como resultado, los precios de los chips de memoria se triplicaron y las acciones de las empresas de electrónica de todo el mundo se hundieron, como IBM, Hewlett Packard, Intel y Xerox, quienes perdieron entre un 18 y un 40 % de su valor un mes después del terremoto.
- En 2011, un gran terremoto azotó Japón, seguido de un tsunami y la fusión de una planta de energía nuclear. El 25% de la producción mundial de obleas de silicio y el 75% del suministro mundial de peróxido de hidrógeno se vieron afectados por el desastre. Varias fábricas fueron cerradas durante varios meses.
- En 2019, las tensiones geopolíticas entre Japón y Corea del Sur aumentaron considerablemente. Japón impuso controles de exportación de materiales semiconductores a Corea, lo que impactó aproximadamente \$7000 millones en exportaciones de semiconductores por mes.
- En diciembre de 2020, un corte de energía afectó a una fábrica de memoria ubicada en Taiwán durante solo una hora, lo que afectó al 10 % del suministro global de memorias DRAM.
- Dos incendios en una planta de sustratos para empaquetado en Taiwán en octubre de 2020 y febrero de 2021 agravaron la escasez de capacidad global para los servicios de ensamblaje, empaquetado y prueba, que ya de por sí estaban experimentando dificultades para satisfacer el aumento de la demanda de chips en los últimos meses de 2020.
- Los cortes de energía generalizados luego de un vórtice polar en Texas y un incendio en una fábrica de Renesas en Japón a principios de 2021 exacerbaron aún más la escasez mundial de suministro de chips, especialmente para el mercado automotriz.

4 Los roles de la Pandemia de Covid-19 y el conflicto en Ucrania en la actual crisis de semiconductores

Señala Xavier Ferras en su artículo titulado La Isla del Silicio (Ferras, 2022) que los chips producidos en Taiwán son “los bloques constituyentes de la economía digital”. Hace seis décadas la economía de Taiwán dependía de sus plantaciones de té y azúcar (Olds, 2012). Hoy controla alrededor del 60% de la producción mundial de los dispositivos semiconductores más sofisticados, así como la fabricación de más del 80% de los chips utilizados en electrónica de todo el mundo. Y es algo que se pudo apreciar durante la pandemia de la Covid-19. Por un lado, los confinamientos a nivel mundial, incrementaron la demanda de electrónica de consumo, tales como computadoras, teléfonos, entre otros. Por lo que la producción de chips de las fundidoras taiwanesas fue insuficiente para satisfacer dicha exigencia. Por otro lado, ciertas vicisitudes de producción causadas por una sequía severa en

dicho país en el 2021, ralentizaron aún más la producción de chips. Ergo, ordenadores, dispositivos móviles, vehículos y electrodomésticos sufrieron retrasos en sus tiempos de entrega.

Pero la crisis de la pandemia fue solo el inicio de lo que vendría después. Se pronosticaba que para mediados de julio del 2022 las cadenas de suministro se normalizarían toda vez que la pandemia estuviera más controlada, pero a finales del mes de febrero de este año, inició el conflicto bélico en Ucrania, lo que ha generado un paro en la producción de elementos químicos específicos para la manufactura de chips, los cuales son abundantes en la región de Europa del Este.

El elemento químico Neón es un gas noble sin color, sabor y olor. El uso de este gas es muy demandado en las industrias Aeroespacial, Aeronáutica y Automotriz, así como en la fabricación de componentes electrónicos. El Neón juega un papel importante en la manufactura de microchips (Sillas, 2022), ya que es utilizado durante el proceso de grabado de los circuitos electrónicos en la oblea de Silicio.

De acuerdo a las estadísticas mostradas por Techcet, empresa de servicios de asesoría enfocada en cadenas de suministro y negocios de materiales electrónicos, “la mayoría de la importación de Neón de alta pureza en EE. UU. Proviene de Ucrania”, mientras que a nivel mundial éste representa entre el 45% y el 54% (Techcet, 2022). En Ucrania se encuentran dos de los principales proveedores de este gas noble: Ingas y Cryoin. Sin embargo, debido al conflicto actual en la zona, la producción se ha detenido. Lo cual, convierte esta situación en una nueva crisis de semiconductores, puesto que cualquier falla en la cadena de suministros conlleva a retrasos o escasez.

De acuerdo con el artículo del Economista de marzo del 2022, antes del conflicto en la zona de Ucrania, este país abastecía de Neón a Taiwán, Corea, China, Alemania y Estados Unidos, quienes destinaban el 75% de éste para la producción de chips (El Economista, 2022).

A corto plazo, esto no implicaría un problema grave debido a las reservas que poseen grandes compañías como las localizadas en Taiwán. No obstante, si continúa el conflicto, el problema se agudizará aún más, lo cual se verá reflejado en costos elevados y mayores retrasos de entrega. Por si fuera poco, a la crisis de producción de Neón, también se le suma la de otros elementos químicos como el Paladio, Magnesio y Cobalto.

Si sumamos la crisis de la pandemia y la crisis de la guerra en Ucrania, aún se vislumbra un panorama mundial complicado para la industria de los semiconductores, ya que los retrasos en la cadena de suministros se han hecho más largos, generando mayores costos en todos los productos que llevan algún microchip electrónico. Al mismo tiempo, el incremento en la demanda de autos nuevos y gadgets electrónicos como teléfonos, tabletas, computadoras y consolas de videojuegos, no para de crecer, por lo que se tiene una alta demanda y una escasa oferta.

5 Conclusión

La electrónica moderna tiene un grado de complejidad inimaginable hace medio siglo cuando los primeros dispositivos semiconductores estaban en sus albores. En tan sólo 5 décadas, el tamaño de los transistores de los circuitos integrados se escaló en un factor de 10,000, yendo de las 10 micras a los 3 nanómetros. Probablemente, ninguna otra industria ha mostrado tal avance tecnológico.

La industria de semiconductores es la cuarta industria en el mundo con mayor número de ventas. Engloba 7 etapas para el desarrollo del producto final, en las que intervienen diversos actores de distintas regiones del mundo según sus ventajas competitivas. El nivel de especialización requerido es bastante alto en cada una de estos peldaños, desde el diseño hasta la realización final de los chips. El Este de Asia es en el que se encuentran, en mayor medida, las etapas de fabricación, empaquetado y ensamblaje de circuitos integrados, siendo Taiwán un país clave al concentrar alrededor del 60% de la fabricación de chips a nivel mundial.

La alta concentración de un solo actor en uno de los eslabones de la cadena de producto implica el riesgo de que se presenten cuellos de botella en la misma, y por lo tanto se generen retrasos en las entregas de los chips que integran una gran parte de los sistemas electrónicos en el mundo, incluidos la electrónica de consumo como los ordenadores, teléfonos y consolas de videojuegos, así como también los circuitos electrónicos para las funciones de confort, infotainment y comunicación de los automóviles.

Antes de la crisis actual de semiconductores, la primera de este siglo, hubo otras en el pasado, originadas por algún tipo de desastre o conflictos entre naciones. En varias de éstas, las pérdidas económicas fueron cuantiosas. La crisis actual de la industria de los semiconductores, sin embargo, no tiene su origen en un hecho aislado, ha sido la concatenación de una serie de sucesos desafortunados que han agudizado los tiempos de entrega de los chips demandados por diversas industrias en el mundo, incluidas la de electrónica de consumo y automóviles. Dentro de las fallas que dieron origen a la crisis actual se encuentra la pandemia, que derivó en una alta demanda de electrónica de consumo, y el conflicto en Ucrania, que era proveedor de ciertos materiales esenciales para algunos procesos de grabado en las obleas de Silicio, y cuya cadena de suministro se ha visto interrumpida. Otras fallas que han contribuido a la crisis incluyen el paro técnico de algunas de las fundidoras del parque tecnológico de Hsinchu en Taiwán, producto de una sequía que ha azotado a esta nación en 2021 y dos incendios en una planta de sustratos para empaquetado en Taiwán en octubre de 2020 y febrero de 2021.

Por lo anterior, puede apreciarse que la crisis actual de la industria de semiconductores no es la primera que se ha suscitado en la historia, pero sí una de las más desafortunadas por las causas involucradas, como lo son una de las peores pandemias en los últimos 100 años y la guerra en Europa del Este. Hemos aprendido que no ha sido conveniente concentrar en una sola región partes estratégicas de la cadena del producto, como lo es la fabricación de los chips, y qué es mejor apostar a una descentralización de los procesos en una sola latitud del mundo. Se verá en el futuro inmediato cuáles son las medidas que se adoptan para prevenir futuras crisis, que ya no se pueden permitir por la dependencia tecnológica que la humanidad tiene en muchos de sus quehaceres.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Daniel Mocencagua Mora por la revisión del artículo. Sin su ayuda el manuscrito no hubiera sido posible.

Referencias

Arden, W. et. al. (2017). More than Moore [White paper]. International Technology Roadmap for Semiconductors. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/references/examples/white-paper-references#2>

Nauta, B. (2021). We can do better than Moore's law. Bits & Chips.

El Economista. (2022). Ataques de Rusia a Ucrania paralizan la mitad de la producción mundial del neón para chips. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/empresas/Ataques-de-Rusia-a-Ucrania-paraliza-la-mitad-de-la-produccion-mundial-del-neon-para-chips-20220311-0046.html>

Ferras, X. (2022). La isla del Silicio. La Vanguardia.

Ferras, X. (2022). Desglobalización. La Vanguardia.

Ewing, J. and Cohen, P. (2021). How car shortages are putting the world's economy at risk? The New York Times.

Filippo, A., et. al. (2022). Cadena de valor de semiconductores: estructura y perspectivas de cara al nuevo escenario global. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Cadena-de-valor-de-semiconductores-estructura-y-perspectivas-de-cara-al-nuevo-escenario-global.pdf>

Electronics media. (2021). When the semiconductor shortage will end?. Recuperado de <https://www.electronicmedia.info/2021/07/27/crisis-in-the-semiconductor-market-symptoms-diagnosis-forecasts/>

Olds, K. (2012). The Economic History of Taiwan. Economics History. Recuperado de <https://eh.net/encyclopedia/the-economic-history-of-taiwan/>

Sillas, L. [@sillas_gdl]. (1 de marzo del 2022). ¿Se acuerdan que había crisis por falta de semiconductores a nivel mundial?...Pues agárrense... [Tweet]. Twitter. https://twitter.com/sillas_gdl/status/1498789151763750917

Techcet. (2022). Electronic Gas Markets – Strong Growth, Pressing Supply-Chain Issues. Recuperado de <https://techcet.com/electronic-gas-markets-strong-growth-pressing-supply-chain-issues/>

Varas, A., et. al. (2021). Silicon Valley Boston Consulting Group. Report: Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era. Semiconductor Industry Association. Recuperado de https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf

Nauta, B. (2022). Why build a fab in Europe if the demand is in the US?. Bits & Chips.

Yang, L. (2022). Micron to invest \$40 billion in U.S. chip manufacturing. CNBC.