



# SEMICONDUCTORES EN LA ERA DIGITAL: EVOLUCIÓN, DESAFÍOS E IMPLICACIONES GEOPOLÍTICAS

## REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA

FERREIRA JUNIOR, Cidrak Nunes<sup>1</sup>, REDKVA, Paulo Eduardo<sup>2</sup>, SANDRINO, Bianca<sup>3</sup>

FERREIRA JUNIOR, Cidrak Nunes. REDKVA, Paulo Eduardo. SANDRINO, Bianca. **Semiconductores en la era digital: evolución, desafíos e implicaciones geopolíticas**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año 08, Ed. 12, Vol. 02, pp. 133-150. Diciembre de 2023. ISSN: 2448-0959, Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia-es/semiconductores>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia-es/semiconductores

## RESUMEN

La industria de semiconductores, base de la revolución tecnológica contemporánea, ha evolucionado continuamente desde los primeros transistores hasta los avanzados microchips de hoy en día. Históricamente dominada por potencias como los Estados Unidos, la última década ha sido testigo del ascenso de Asia, especialmente de China, como un centro vital de producción e investigación, reconfigurando el equilibrio geopolítico del sector. Impulsada por la creciente demanda de dispositivos electrónicos y la digitalización, la industria enfrenta desafíos como la reciente escasez de chips, agravada por la pandemia de la COVID-19. Sin embargo, tecnologías emergentes como transistores de puerta de túnel, grafeno y memoria resistiva prometen revolucionar aún más el campo. Esta revisión narrativa ofrece un análisis integral de la evolución de los semiconductores, destacando innovaciones tecnológicas, desafíos actuales e implicaciones geopolíticas, con especial atención a la intersección entre la economía y la tecnología.

Palabras clave: Semiconductores, Evolución tecnológica, Implicaciones geopolíticas, Innovaciones emergentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria de semiconductores ha desempeñado un papel fundamental en la revolución tecnológica de las últimas décadas, desde los primeros transistores hasta los microchips avanzados de hoy en día (Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023). Esta



evolución no solo refleja los avances tecnológicos, sino también las dinámicas geopolíticas y económicas que dan forma al panorama global (Da Silva, 2022).

Históricamente, la industria de semiconductores ha estado dominada por algunos actores globales, con Estados Unidos a la vanguardia en términos de innovación y producción (Danowitz *et al.*, 2012; Deng; Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023; Da Silva, 2022). Sin embargo, en las últimas décadas, Asia, especialmente China, ha surgido como un centro vital para la producción e investigación de semiconductores, desafiando la hegemonía tradicional y reconfigurando el equilibrio de poder en la industria. China ha experimentado un crecimiento significativo en su industria de semiconductores, centrándose en el desarrollo de una cadena de suministro y mejorando las capacidades tecnológicas (Ernst, 2016; Li, 2021; Wu *et al.*, 2006).

La creciente demanda de dispositivos electrónicos, impulsada por la digitalización y el Internet de las Cosas (IoT), ha situado a los semiconductores en el centro de atención (Roche, 2018). En los últimos años, ha habido cambios importantes en el paradigma de hardware de la industria de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), con la relación usuario-dispositivo invirtiéndose y los usuarios siendo superados en número por los dispositivos que acceden (Hischier *et al.*, 2015; Zou, 2023). Los avances en la tecnología de semiconductores han sido impulsados por la demanda de dispositivos más rápidos, mejores y más eficientes en términos de energía (Fowler, 1993). El progreso en las ciencias físicas, químicas y de materiales, junto con el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas, ha permitido la integración de cientos de miles de dispositivos en un solo chip (Jevtics *et al.*, 2021). Los semiconductores han desempeñado un papel crucial en la era de la microelectrónica, con mejoras constantes en el rendimiento logradas mediante una mejor comprensión de los procesos físicos y los avances tecnológicos.

Sin embargo, la industria de semiconductores no está exenta de desafíos. La reciente escasez de chips, agravada por la pandemia de la COVID-19, ha destacado la fragilidad de las cadenas de suministro globales y la necesidad de diversificación (Frederico *et al.*, 2023; Mzougui *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023). En este contexto, es importante comprender la trayectoria de la industria de semiconductores, sus desafíos



actuales y futuros, así como las implicaciones geopolíticas y las políticas industriales adoptadas por diferentes naciones. El objetivo de esta revisión es analizar de manera integral el sector, abordando su evolución histórica, innovaciones tecnológicas, desafíos actuales, implicaciones geopolíticas y políticas industriales, con énfasis en la economía y la tecnología.

## 2. METODOLOGIA

Se trata de una revisión narrativa que involucró la investigación de artículos y textos académicos relevantes en bases de datos académicas reconocidas. Empleamos una amplia gama de términos de búsqueda específicos relacionados con la industria de semiconductores, abarcando el contexto histórico, las innovaciones tecnológicas, los desafíos actuales, las implicaciones geopolíticas y las políticas industriales.

Inicialmente, identificamos muchos artículos que coincidían con los términos de búsqueda. Después de esta etapa inicial, procedimos con una criba inicial basada en criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión requerían que los artículos o textos estuvieran disponibles en inglés o portugués y que abordaran específicamente la industria de semiconductores en sus diversos aspectos. Se excluyeron los artículos que no estaban directamente relacionados con el tema o que no proporcionaban información relevante para la revisión.

Durante este análisis, consideramos la relevancia de cada artículo para los objetivos de esta revisión. Además, evaluamos la metodología adoptada por los autores, examinamos los principales hallazgos y conclusiones presentados en cada estudio. Esta análisis crítica permitió identificar tendencias, desafíos y oportunidades en la industria de semiconductores, así como comprender las implicaciones geopolíticas y las políticas industriales adoptadas por diferentes naciones. Estructuramos esta revisión en secciones temáticas que reflejan los principales temas identificados durante el análisis de los artículos. Cada sección se desarrolló en base a las evidencias encontradas en los trabajos seleccionados.



Es importante reconocer las limitaciones de esta revisión narrativa. La selección de artículos y textos académicos se basó en criterios establecidos por los autores, lo que podría haber excluido algunas investigaciones con otros contextos importantes. Además, la revisión se enfoca principalmente en artículos publicados en inglés y portugués, lo que podría limitar la amplitud geográfica del análisis. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de esta revisión.

### **3. DEVELOPMENT**

#### **3.1. TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN SEMICONDUCTORES: PERSPECTIVAS Y AVANCES**

Una de las tecnologías emergentes más prometedoras son los transistores de puerta túnel (TFETs), que tienen el potencial de superar los límites de los transistores MOSFET convencionales en términos de consumo de energía (Deng; Deng, 2022). Simultáneamente, los materiales bidimensionales como el grafeno están siendo intensamente explorados debido a sus propiedades excepcionales, abriendo nuevas fronteras para la industria de semiconductores (Kai; Fujishima, 2011).

La memoria resistiva (ReRAM) es otra innovación significativa que promete superar las limitaciones de las tecnologías de memoria tradicionales. Con una mayor densidad y menor consumo de energía, la ReRAM tiene el potencial de revolucionar el almacenamiento de datos (Yu; Chen, 2016). Por otro lado, la fotónica en silicio, que utiliza luz en lugar de electrones para transmitir información, está emergiendo como una solución prometedora para superar los desafíos de ancho de banda y consumo de energía de los sistemas electrónicos convencionales (Hirayama *et al.*, 2007).

La computación cuántica, aún en sus etapas iniciales, representa un avance potencialmente revolucionario. Al explorar las propiedades cuánticas de los materiales, las computadoras cuánticas tienen el potencial de resolver problemas que son intratables para las computadoras clásicas (Sengupta; Ankit; Roy, 2017). Las tecnologías emergentes de semiconductores están expandiendo sus aplicaciones en diversos campos. Estas tecnologías permiten el desarrollo de dispositivos



semicondutores de bajo costo con funciones avanzadas, desde medicina hasta Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) (Kai; Fujishima, 2011).

Las heteroestructuras semiconductoras han sido objeto de extensas investigaciones con el objetivo de impulsar avances significativos en la detección a nanoescala y el estudio de las propiedades del transporte cuántico, como mencionado por Hirayama *et al.* (2007). Estas estructuras semiconductoras, compuestas por capas de diferentes materiales semiconductores, ofrecen un campo prometedor para explorar fenómenos en escalas extremadamente pequeñas. Además, se están delineando nuevas fronteras tecnológicas, como los semiconductores de amplio intervalo de energía, cuyo potencial revolucionario para sistemas electrónicos de potencia fue destacado por Shenai en (1990). Estos semiconductores, con sus propiedades únicas, tienen el poder de transformar fundamentalmente la forma en que concebimos e implementamos sistemas de electrónica de alta potencia, abriendo el camino para innovaciones que pueden dar forma al futuro de la tecnología eléctrica. La espectroscopia portátil es un campo en rápido crecimiento, lo que ha permitido la incorporación de sensores multiespectrales en dispositivos portátiles, proporcionando información valiosa a los usuarios (Pescitelli *et al.*, 2023). La confiabilidad de los convertidores electrónicos de potencia es fundamental para los dispositivos electrónicos miniaturizados. Se están proponiendo soluciones innovadoras para abordar los desafíos de los componentes y circuitos electrónicos de potencia (Crocombe, 2023).

La industria de semiconductores ha sido testigo de varios hitos y avances históricos. Estos avances han sido fundamentales para el crecimiento continuo de la industria, abriendo el camino para la creación de diversos productos, desde dispositivos integrados hasta teléfonos inteligentes y computadoras (Chin *et al.*, 2013; Lee, 2016). Este sector ha desempeñado un papel esencial en la actual revolución tecnológica. Impulsada principalmente por el avance en la miniaturización de chips, la Ley de Moore, que predice la duplicación del número de transistores en un microchip aproximadamente cada dos años, ha sido la norma en la industria de semiconductores durante décadas (Deng; Deng, 2022). Esta continua miniaturización ha permitido un aumento exponencial en la potencia de procesamiento, resultando en dispositivos



electrónicos más rápidos, más pequeños y más eficientes en términos de energía (Araújo, 2022).

La consolidación de múltiples capacidades en un solo componente, denominado *System on a Chip* (SoC), ha sido fundamental para la evolución de dispositivos móviles, dispositivos ponibles y otras tecnologías compactas que destacan en el panorama actual (Mok *et al.*, 2021; Du *et al.*, 2023; Patrick *et al.*, 2022). Esta convergencia ha permitido la incorporación acelerada de innovaciones, como la tecnología 5G, al tiempo que mantiene la eficiencia energética y la accesibilidad económica (Guertin, 2018). Cada año, los SoCs se refinan e integran en sistemas más sofisticados, reflejando la constante miniaturización de la tecnología (An *et al.*, 2021). La estrategia de diseño basada en chiplets, que combina diversos chiplets con funciones distintas en una única estructura, ha traído una revolución adicional al sector, resultando en SoCs más compactos, eficientes en términos de energía y con tiempos de comercialización más ágiles. Tales avances en la tecnología SoC han posibilitado la creación de dispositivos pequeños pero robustos que satisfacen las demandas del consumidor contemporáneo.

Para superar los límites de la miniaturización, la industria ha explorado nuevos materiales y técnicas de fabricación. En el campo de la investigación cerebral, se han utilizado chips cerebrales, como los chips RFID, para estudiar enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. Estudios recientes han cultivado organoides cerebrales alrededor de chips RFID funcionales, que pueden estimular el crecimiento de las neuronas y mejorar la conectividad entre ellas, mejorando potencialmente la memoria en pacientes con Alzheimer (Jones *et al.*, 2023). Otra innovación notable es el desarrollo de dispositivos microfluídicos cerebrales en un chip (BOC). Estos dispositivos permiten experimentos con tejidos humanos y se pueden utilizar para probar nuevos medicamentos (Zhao *et al.*, 2023). Además, los avances en la miniaturización de chips han llevado al desarrollo de brainoides, modelos cerebrales autoensamblados utilizando células madre pluripotentes derivadas de humanos (Akçay; Luttge, 2023).



Con esto, la industria de semiconductores continúa innovando a un ritmo acelerado, impulsada por la demanda incesante de un mayor rendimiento y eficiencia. Las innovaciones tecnológicas, como los chips cerebrales y los avances en la miniaturización, están en el centro de esta transformación, dando forma al futuro de la electrónica y abriendo nuevas fronteras para la computación.

### **3.2. DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS EN LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES**

El sector de semiconductores enfrenta diversos desafíos. La actual escasez de semiconductores, que afecta a sectores que van desde el automotriz hasta el de electrónicos, se debe a interrupciones en la cadena de suministro debido a la pandemia de COVID-19, al aumento de la demanda de electrónicos y a restricciones de producción (Araújo, 2022; Deng; Deng, 2022). La sostenibilidad es otra preocupación creciente. La producción de semiconductores es intensiva en términos de energía y recursos. La presión por prácticas más sostenibles está llevando a la industria a buscar materiales y técnicas de producción más ecológicos y a minimizar el desperdicio. Además, la industria enfrenta desafíos como el aumento de costos, la necesidad de desarrollo de procesos y gastos de fabricación, y la reducción de los ciclos de productos (Abadir, 2007).

Estamos observando el surgimiento de nuevos materiales, técnicas y paradigmas de cómputo, como la computación cuántica, para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los materiales involucrados en los desarrollos de semiconductores (Beckers *et al.*, 2022; Deng; Deng, 2022). La creciente complejidad de los chips requiere herramientas de diseño más avanzadas y un enfoque sistemático para la verificación y prueba. Además, la demanda de expertos en semiconductores supera la oferta, destacando la necesidad de inversión continua en educación y capacitación (Meloni, 2023). En respuesta a estos desafíos, la industria está adaptando modelos de negocios, desarrollando nuevas tecnologías y abordando cuestiones ambientales. La colaboración entre la industria, la academia y los gobiernos es esencial para superar



estos obstáculos y garantizar un futuro sostenible e innovador para la industria de semiconductores (Cremonesi, 2010; Law, 2019; Plepys, 2004).

El área de semiconductores está en el epicentro de tensiones geopolíticas significativas, mientras enfrenta desafíos técnicos y logísticos. La creciente dependencia global de tecnologías avanzadas ha convertido a los semiconductores en activos estratégicos, con naciones compitiendo por la supremacía en este ámbito relevante (Deng; Deng, 2022; Hossain *et al.*, 2023). Estados Unidos, tradicionalmente líder en la industria de semiconductores, enfrenta competencia internacional y preocupaciones sobre la seguridad en la cadena de suministro debido a la deslocalización de operaciones de fabricación. Llamados para revitalizar la fabricación doméstica e invertir en investigación y desarrollo son evidencia de la necesidad de mantener la ventaja tecnológica de los Estados Unidos. Además de las tensiones entre Estados Unidos y China, otros países como Taiwán y Corea del Sur desempeñan roles cruciales en la cadena de suministro global, convirtiéndose en puntos focales de interés estratégico y potenciales fuentes de tensión geopolítica (Luo; Van Assche, 2023).

En resumen, las implicaciones geopolíticas de la industria de semiconductores son profundas y multifacéticas. A medida que la tecnología juega un papel central en las economías globales, las tensiones y competiciones en torno a los semiconductores se intensifican. Esta dinámica es evidente en las políticas de tecnonacionalismo de los Estados Unidos, en la respuesta de Europa con la Ley Europea de Chips y en la concentración estratégica de la producción de semiconductores en grandes empresas y países (Huggins *et al.*, 2023). Para las empresas multinacionales, adaptarse a estos cambios requiere estrategias geográficas, reconfiguración de operaciones, resiliencia y diplomacia corporativa para navegar en un escenario incierto.





### 3.3. POLÍTICAS INDUSTRIALES Y COMPETITIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES: ENFOQUES GLOBALES Y RETOS FUTUROS

Además de Estados Unidos y China, otros países también han reconocido la importancia estratégica de los semiconductores e implementado sus propias políticas industriales. Por ejemplo, la Unión Europea ha lanzado iniciativas para aumentar la producción de semiconductores en la región y reducir su dependencia de proveedores asiáticos (Johnston; Huggins, 2023). De manera similar, países como Corea del Sur y Taiwán, ya establecidos como actores clave en la industria, continúan invirtiendo en innovación y expansión de capacidad para mantener su posición competitiva. Sin embargo, mientras que estas políticas industriales tienen el potencial de impulsar el desarrollo de la industria de semiconductores, también pueden llevar a tensiones comerciales. Restricciones a la exportación, subsidios y otras medidas proteccionistas pueden distorsionar el mercado global y llevar a disputas comerciales entre naciones (Deng; Deng, 2022). Por lo tanto, es esencial que las políticas se implementen de manera que fomenten la cooperación y la integración global, en lugar de aislacionismo y competencia desenfrenada (Araújo, 2022).

Las políticas industriales de semiconductores en diferentes países varían. Estados Unidos, Taiwán, Japón y Alemania tienen excedentes de ingenieros, mientras que China y Corea del Sur tienen flujos excedentes (Fujiwara, 2023). La Unión Europea está proporcionando inversiones significativas a la industria de semiconductores para abordar problemas de autosuficiencia y soberanía digital (Johnston; Huggins, 2023). China ha adoptado diferentes modelos de desarrollo estatal para su industria de semiconductores, incluyendo un modelo de estado emprendedor en las décadas de 1980 y 1990, y un modelo general de estado de desarrollo con incentivos indirectos en la década de 2000 (Marukawa, 2023). La política industrial reciente de China se centra en revitalizar su industria de TIC a través de inversiones directas en campeones nacionales y la diversificación entre más de 300 empresas (Verwey, 2019). Sin embargo, los actuales planes industriales de semiconductores de China enfrentan



desafíos debido a la falta de capital humano y la intensa competencia internacional (Verwey, 2019).

En China, la política industrial relacionada con los semiconductores ha pasado por diversas fases, desde la priorización del crecimiento económico y el desarrollo de campeones nacionales hasta el uso de incentivos indirectos y la promoción del crecimiento de la industria de circuitos integrados (Majerowicz; De Medeiros, 2018; Marukawa, 2023). La política industrial reciente de China se centra en revitalizar la industria de TIC a través de inversiones directas e indirectas (Marukawa, 2023).

Durante la crisis financiera global de 2008, países como Japón, Corea del Sur y Taiwán respondieron con intervenciones gubernamentales para apoyar la industria de semiconductores, lo que resultó en mejoras financieras, aunque con cierto retraso (Wu *et al.*, 2015). En Europa, se han adoptado políticas tecnológicas y de colaboración, como consorcios de investigación y desarrollo, para mejorar la competitividad de la industria de semiconductores y enfrentar la competencia extranjera (Lucchini, 1998). En Estados Unidos y Japón, el debate se centra en las políticas industriales, políticas de importación de tecnología y apoyo a consorcios de investigación, con análisis sobre cómo estas políticas han impactado en el desarrollo y la competitividad de la industria de semiconductores (Lynn, 2000). El desafío consiste en evitar tensiones comerciales y garantizar un futuro sostenible para esta industria vital (Verwey, 2019; Wang *et al.*, 2023).

Actualmente, se enfrentan desafíos significativos relacionados con la gestión sostenible, siendo la necesidad de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) una de las principales preocupaciones (Zhu *et al.*, 2023). Esta industria desempeña un papel notable en las emisiones de GEI, sin embargo, hasta el momento, faltan directrices claras para métodos eficaces de reducción, especialmente adaptados a las complejas operaciones de fabricación de semiconductores (Zhu *et al.*, 2023). Una aproximación promisoría para abordar este problema implica la implementación de equipos altamente eficientes de destrucción de gases de escape, diseñados para eliminar los GEI de procesos críticos. Esta



estrategia podría representar un avance significativo en la búsqueda de la responsabilidad ambiental en la industria de semiconductores.

Además, el concepto de Gestión Verde de la Cadena de Suministro (GSCM, por sus siglas en inglés) se ha aplicado ampliamente para mejorar el rendimiento ambiental en las cadenas de suministro de semiconductores (Lu *et al.*, 2023). Sin embargo, un estudio encontró que, al analizar variables ambientales en relación con la productividad, no se encontraron diferencias significativas, sugiriendo que tal vez la inversión en el desarrollo de tecnología sea un factor más preponderante para mejorar la productividad (Lu *et al.*, 2023).

En última instancia, el equilibrio ambiental en la industria de semiconductores no se reduce únicamente a la reducción de las emisiones de GEI y la implementación de GSCM. La competitividad y el crecimiento a largo plazo del sector también están intrínsecamente relacionados con su capacidad de innovación y la habilidad de participar en procesos de innovación abierta (Kumar; Kumar, 2017). Por lo tanto, fomentar la innovación se vuelve importante para asegurar la competitividad a largo plazo en esta industria dinámica. Con esto, abordar la responsabilidad ambiental en la industria de semiconductores implica un enfoque multifacético, que incluye la reducción de las emisiones de GEI, la implementación de prácticas de Gestión Verde de la Cadena de Suministro y el fomento de la innovación para garantizar la sostenibilidad social a largo plazo (Huggins *et al.*, 2023).

Se observan diversas consideraciones en el rendimiento, prácticas de informes, adopción de una estructura de *Balanced Scorecard* (BS) orientada a la sostenibilidad, enfoque en la preservación ambiental a lo largo del ciclo de vida de los productos, implementación de principios de diseño ambiental y la búsqueda constante de reducir el impacto global del ciclo de vida (Jassem; Azmi; Zakaria, 2018). En el ámbito de esta industria, las organizaciones se han dedicado a evaluar su viabilidad, basándose en criterios que involucran la gestión de recursos, datos de emisiones y la adopción de las mejores prácticas sostenibles (Kumar *et al.*, 2021). En este enfoque, métricas como la rentabilidad, la innovación, las inversiones en prácticas sostenibles y la promoción de la conciencia sobre la importancia de la preservación ambiental



emergen como elementos de gran importancia (Hsu *et al.*, 2011). La preocupación por la sostenibilidad ambiental destaca como una prioridad significativa en el desarrollo de nuevos procesos de fabricación, instalaciones y productos, subrayando la necesidad de una investigación profunda y colaboración en el área (Harland; Reichelt; Yao, 2008).

En este sentido, se han realizado esfuerzos sustanciales en la incorporación de principios ambientales al diseño, lo que ha contribuido a avances notables en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en la gestión de residuos y en el uso eficiente de la energía. No obstante, persisten desafíos significativos en relación con la búsqueda continua de una reducción adicional del impacto ambiental.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

La industria de semiconductores ha desempeñado un papel fundamental en la revolución tecnológica de las últimas décadas, influyendo no solo en el avance de las tecnologías, sino también en las dinámicas geopolíticas y económicas a nivel mundial. Desde sus inicios con los primeros transistores hasta los microchips de alta complejidad que tenemos hoy, la trayectoria de esta industria refleja una combinación única de innovación, competencia y colaboración a escala global. Históricamente dominada por algunos gigantes, con Estados Unidos a la cabeza, hemos sido testigos del ascenso de Asia, especialmente China, como un epicentro relevante para la producción e investigación de semiconductores. Esta transformación geopolítica, junto con la creciente demanda de dispositivos electrónicos y la era de la digitalización, coloca a los semiconductores en el centro de atención. Tecnologías emergentes, como los transistores de puerta de túnel, materiales bidimensionales como el grafeno, la memoria resistiva y la fotónica en silicio, prometen revolucionar aún más el sector. Sin embargo, desafíos recientes, como la escasez de chips y la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales, destacan la necesidad urgente de diversificación y continua innovación.



## REFERENCIAS

ABADIR, Magdy S. Meeting the evolving challenges of the semiconductor industry. In: **2007 International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era**. IEEE, 2007. p. I-I.

AKCAY, Gulden; LUTTGE, Regina. Microenvironments Matter: Advances in Brain-on-Chip. **Biosensors**, v. 13, n. 5, p. 551, 2023.

AN, Xiaoshuai *et al.* Compact integration of GaN-based photonic chip with microfluidics system. **Optics Letters**, v. 46, n. 2, p. 170-173, 2021.

ARAÚJO, Theodoro Parizzi Horta. ESCASSEZ MUNDIAL DE SEMICONDUTORES: OS IMPACTOS NA ECONOMIA BRASILEIRA. 2022.

BECKERS, Omar *et al.* Perspective on the application of continuous flow chemistry for polymer-based organic electronics. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 10, n. 5, p. 1606-1616, 2022.

CHIN, Jiann Min *et al.* Recent advances in fault isolation for semiconductor industry. In: **Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)**. IEEE, 2013. p. 269-279.

CREMONESI, Alessandro. Semiconductor industry: Perspective, evolution and challenges. In: **2010 Fourth ACM/IEEE International Symposium on Networks-on-Chip**. IEEE, 2010. p. 5-5.

CROCOMBE, Richard A. Emerging technologies for miniature spectrometers and multispectral sensors. **Next-Generation Spectroscopic Technologies XV**, v. 12516, p. 35-48, 2023.

DA SILVA, Guilherme Jorge. Semicondutores: um estudo para a China e Estados Unidos nas cadeias globais de valor. **Textos de Economia**, v. 25, n. 2, p. 01-28, 2022.

DANOWITZ, Andrew *et al.* CPU DB: Recording Microprocessor History: With this open database, you can mine microprocessor trends over the past 40 years. **Queue**, v. 10, n. 4, p. 10-27, 2012.

DENG, Ben Lian; DENG, Ben Shen. POLITICAL ECONOMY OF THE SEMICONDUCTOR INDUSTRY AND THE RECENT LIMITED DEVELOPMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 26, 2022.

DU, Xu *et al.* Integration of Microfluidic Chip and Probe with a Dual Pump System for Measurement of Single Cells Transient Response. **Micromachines**, v. 14, n. 6, p. 1210, 2023.



ERNST, Dieter. From Catching Up to Forging Ahead? China's New Role in the Semiconductor Industry. **Solid state technology May**, 2016.

FOWLER, Alan B. A semicentury of semiconductors. **Physics Today**, v. 46, n. 10, p. 59-62, 1993.

FREDERICO, Guilherme F. *et al.* Guest editorial: Performance measurement in supply chains during disruptions: lessons from the COVID-19 pandemic. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 40, n. 5, p. 1113-1118, 2023.

FUJIWARA, Ayano. An empirical analysis of the impact of semiconductor engineer characteristics on outflows and inflows: evidence from six major semiconductor countries. **SN Business & Economics**, v. 3, n. 6, p. 100, 2023.

GUERTIN, Steven M. **Guideline for Single-Event Effect (SEE) testing of System on a Chip (SOC) devices**. 2018.

HARLAND, John; REICHEL, Ted; YAO, Marissa. Environmental sustainability in the semiconductor industry. In: **2008 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**. IEEE, 2008. p. 1-6.

HIRAYAMA, Yoshiro *et al.* Semiconductor heterostructure studies using emerging technologies. **physica status solidi (b)**, v. 244, n. 8, p. 2988-3001, 2007.

HISCHIER, Roland *et al.* Grey energy and environmental impacts of ICT hardware. In: **ICT innovations for sustainability**. Springer International Publishing, 2015. p. 171-189.

HOSSAIN, N. *et al.* Advances and significances of nanoparticles in semiconductor applications—A review, **Results Eng.** 19 (2023), 101347. 2023.

HSU, Chia-Wei *et al.* Using the FDM and ANP to construct a sustainability balanced scorecard for the semiconductor industry. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 12891-12899, 2011.

HUGGINS, Robert *et al.* Competition, open innovation, and growth challenges in the semiconductor industry: the case of Europe's clusters. **Science and Public Policy**, v. 50, n. 3, p. 531-547, 2023.

JASSEM, Suaad; AZMI, Anna; ZAKARIA, Zarina. Impact of sustainability balanced scorecard types on environmental investment decision-making. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 541, 2018.

JEVICS, Dimitars *et al.* Spatially dense integration of micron-scale devices from multiple materials on a single chip via transfer-printing. **Optical Materials Express**, v. 11, n. 10, p. 3567-3576, 2021.



JOHNSTON, Andrew; HUGGINS, Robert. Euro Commentary—Europe’s semiconductor industry at a crossroads: Industrial policy and regional clusters. **European Urban and Regional Studies**, p. 09697764231165199, 2023.

JONES, Erick *et al.* Growth Rate Manipulation of Brain Organoid Using Mini RFID Chip. **International Supply Chain Technology Journal**, v. 9, n. 7, 2023.

KAI, Koji; FUJISHIMA, Minoru. Prospective Silicon Applications and Technologies in 2025. **IEICE transactions on electronics**, v. 94, n. 4, p. 386-393, 2011.

KUMAR, Aman *et al.* Life cycle assessment for better sustainability: methodological framework and application. In: **Methods in Sustainability Science**. Elsevier, 2021. p. 119-134.

KUMAR, Vinod; KUMAR, Uma. Introduction: Technology, innovation and sustainable development. **Transnational Corporations Review**, v. 9, n. 4, p. 243-247, 2017.

LAW, Simon R. Sobering challenges faced by the brewing industry in a warming world. **Physiologia plantarum**, v. 165, n. 2, p. 131-133, 2019.

LEE, Jung-Bae. Semiconductor Memory Road Map: Advances in Semiconductor Memory. **IEEE Solid-State Circuits Magazine**, v. 8, n. 2, p. 66-74, 2016.

LI, Yin. The Semiconductor Industry: A Strategic Look at China’s Supply Chain. In: **The New Chinese Dream: Industrial Transition in the Post-Pandemic Era**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 121-136.

LU, Wen-Min *et al.* Semiconductor industry supply chain productivity changes: Incorporating corporate green performances. **Managerial and Decision Economics**, v. 44, n. 8, p. 4232-4247, 2023.

LUCCHINI, Nathalie. European technology Policy and R&D consortia: the case of semiconductors. **International Journal of Technology Management**, v. 15, n. 6-7, p. 542-555, 1998.

LUO, Yadong; VAN ASSCHE, Ari. The rise of techno-geopolitical uncertainty: Implications of the United States CHIPS and Science Act. **Journal of international business studies**, p. 1-18, 2023.

LYNN, Leonard H. Technology competition policies and the semiconductor industries of Japan and the United States: a fifty-year retrospective. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 2, p. 200-210, 2000.

MAJEROWICZ, Esther; MEDEIROS, Carlos Aguiar de. Chinese industrial policy in the geopolitics of the information age: The case of semiconductors. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 22, 2018.



MARUKAWA, Tomoo. From Entrepreneur to Investor: China's Semiconductor Industrial Policies. **Issues & Studies**, v. 59, n. 01, p. 2350001, 2023.

MELONI, Giovanni. A relação entre a guerra comercial e guerra tecnológica na disputa hegemônica entre Estados Unidos e China. 2023.

MOK, Mark Ping Chan *et al.* Chiplet-based System-on-Chip for Edge Artificial Intelligence. In: **2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM)**. IEEE, 2021. p. 1-3.

MZOUGUI, Ilyas *et al.* A strategic approach to safeguard global supply chains against COVID-19 disruptions. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 2023.

PATRICK, Christopher *et al.* From System-on-Chip (SoC) to System on Multi-Chip (SoMC) architectures: Scaling integrated systems beyond the limitations of deep-submicron single chip technologies. In: **2022 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits)**. IEEE, 2022. p. 1-2.

PESCITELLI, Gennaro *et al.* Chiral materials: Recent progress in structural analysis and emerging new technologies. **Chirality**, 2023.

PLEPYS, Andrius. The environmental impacts of electronics. Going beyond the walls of semiconductor fabs. In: **IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004. Conference Record. 2004**. IEEE, 2004. p. 159-165.

ROCHE, Vincent. Semiconductor innovation: Is the party over, or just getting started?. In: **2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference-(ISSCC)**. IEEE, 2018. p. 8-11.

SENGUPTA, Abhronil; ANKIT, Aayush; ROY, Kaushik. Efficient Neuromorphic Systems and Emerging Technologies: Prospects and Perspectives. **Emerging Technology and Architecture for Big-data Analytics**, p. 261-274, 2017.

SHENAI, Krishna. Potential impact of emerging semiconductor technologies on advanced power electronic systems. **IEEE electron device letters**, v. 11, n. 11, p. 520-522, 1990.

DA SILVA, Guilherme Jorge. Semicondutores: um estudo para a China e Estados Unidos nas cadeias globais de valor. **Textos de Economia**, v. 25, n. 2, p. 01-28, 2022.

VERWEY, John. Chinese semiconductor industrial policy: Prospects for future success. **J. Int'l Com. & Econ.**, p. 1, 2019.

WANG, Luming *et al.* On-chip mechanical computing: status, challenges, and opportunities. **Chip**, p. 100038, 2023.





WU, Chiu-Hui *et al.* Lessons from the global financial crisis for the semiconductor industry. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 99, p. 47-53, 2015.

WU, Huizhen *et al.* Progress of IV-VI semiconductor research in China. In: **2006 Joint 31st International Conference on Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics**. IEEE, 2006. p. 407-407.

YU, Shimeng; CHEN, Pai-Yu. Emerging memory technologies: Recent trends and prospects. **IEEE Solid-State Circuits Magazine**, v. 8, n. 2, p. 43-56, 2016.

ZHAO, Chen *et al.* Recent Advances in Sensor-Integrated Brain-on-a-Chip Devices for Real-Time Brain Monitoring. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, p. 113431, 2023.

ZHU, Shikai *et al.* Mini-Review of Best Practices for Greenhouse Gas Reduction in Singapore's Semiconductor Industry. **Processes**, v. 11, n. 7, p. 2120, 2023.

ZOU, Fengjiao. Research on Electronic Information Hardware Intelligent Terminal Based on Computer 5G Communication Technology. In: **2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)**. IEEE, 2023. p. 834-838.

Enviado: 20 de septiembre de 2023.

Aprobado: 24 de octubre de 2023.

---

<sup>1</sup> Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8507-5412>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2478718201454386>.

<sup>2</sup> Maestro en Educación Física, Licenciado en Educación Física, Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9659-7590>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5921069151300130>.

<sup>3</sup> Orientadora. Postdoctorada en el Instituto de Física; Doctora en Química Inorgánica, Maestra en Química Inorgánica, Licenciada en Química. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-0077>. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0609398613526648>.