

¿Qué tan “Green” es un Green-Chip?

Valentina Hirane, Gerardo González Nava

Trabajo realizado en la asignatura:

Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Máster universitario en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad
Universitat Politècnica de Catalunya
Enero de 2025

¿Qué es un chip? ¿Cuál es su importancia en la actualidad?

Hoy en día **el uso de tecnología se ha vuelto parte fundamental de la manera en que llevamos la vida cotidiana** con el uso de los teléfonos móviles, ordenadores, WiFi, electrodomésticos, medios de transporte, etc. No obstante, **sin la incorporación de microchips, chips o circuitos integrados (CI) no sería posible**. De acuerdo con Robert Sheldon (2022) *“Un chip es una unidad de circuito integrado que se fabrica a escala microscópica utilizando un material semiconductor, como el silicio o, en menor grado, el germanio. Los componentes electrónicos, como los transistores y las resistencias, están grabados en el material en capas, junto con conexiones intrincadas que unen los componentes y facilitan el flujo de señales eléctricas. Los componentes de los microchips son tan pequeños que se miden en nanómetros (nm). Algunos componentes miden actualmente menos de 10 nm, lo que permite colocar miles de millones de componentes en un solo chip”*.

Como consecuencia del uso que se le ha dado a los CI, su importancia en la actualidad es significativa y va en aumento debido a la dependencia que le vamos dando, por lo que estar informados sobre la producción debería de tomar más importancia.

¿A qué nos referimos con el concepto green?

En microelectrónica, el concepto **green IT, green computing**, y por consecuencia, **greenchip** se refiere al diseño, fabricación, uso y desecho de dispositivos microelectrónicos **reduciendo al máximo su impacto ambiental**, es decir, **disminuyendo el consumo energético** de estos productos en las distintas fases de su ciclo de vida, **utilizando materiales reciclados**, proyectando productos reciclables, **generando mayor eficiencia** de los centros de datos, entre otras medidas actualmente disponibles.

Actualmente, según *The Shift Project* se calcula que **la producción y el uso de dispositivos digitales, centros de datos y redes de tecnologías de la información representan alrededor del 3,5 % de las emisiones mundiales de gas de efecto invernadero** (GEI) producto de su crecimiento anual del 6 %. (2023, febrero). [*Environmental impacts of digital technology: 5-year trends and 5G governance. Synthesis.*](#) A este ritmo, se proyecta que esta proporción podría duplicarse para el año 2025, generando una creciente preocupación por el consumo energético y la generación de residuos electrónicos asociados a la industria de la microelectrónica. Siendo **necesario transitar a una economía digital circular**, centrándose en la circularidad por diseño a través de productos duraderos, consumo responsable, reutilización y reciclaje, y modelos de negocio sostenibles.

¿Cuáles son las medidas que adopta la Unión Europea (UE) frente al aumento de demanda de estos dispositivos y la transición energética?

Bajo este escenario, la UE ha adoptado diversas estrategias para abordar el creciente uso de dispositivos tecnológicos y la transición energética desde varias áreas. Esto incluye nuevas regulaciones y políticas públicas para fomentar la formación de profesionistas calificados en el ámbito de la electrónica. Así como, aumentar la ambición de la industria tecnológica. La Ley Europea de Chips es uno de los instrumentos legislativos que presenta directrices de la UE.

Ley Europea de Chips

Esta ley pretende elevar la industria electrónica en Europa a través de un fondo de inversión de miles de millones de euros en la construcción de nuevas plantas de producción de semiconductores en Alemania, Polonia e Italia, entre otros países. Esto con el propósito de recuperar la participación de la Unión Europea en el mercado de las tecnologías y aplicaciones de semiconductores.

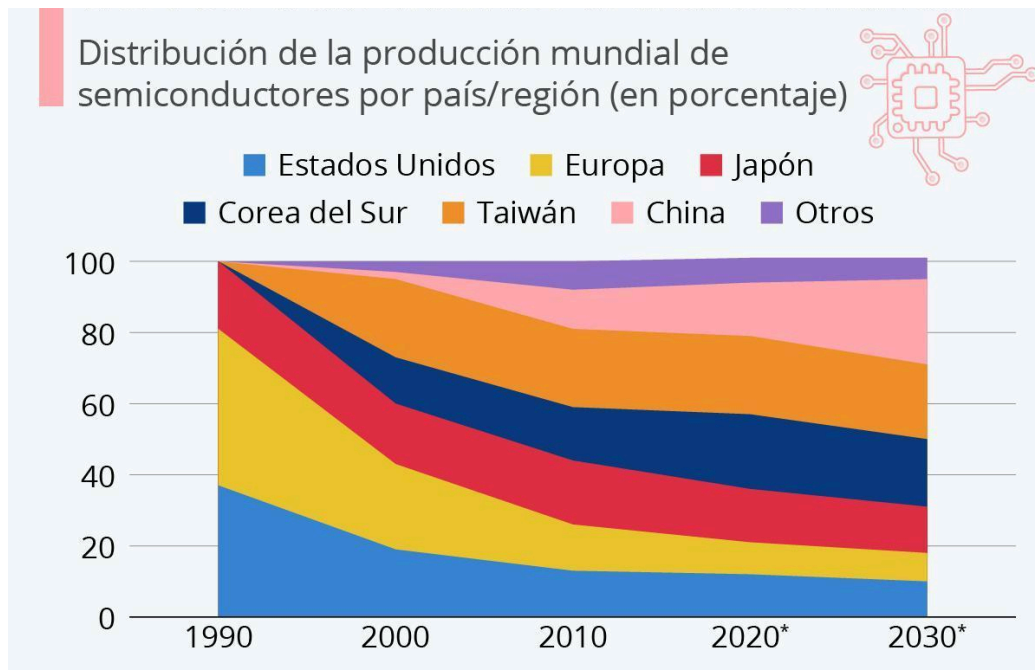


Gráfico 1. Distribución de la producción mundial de semiconductores por país/región de 1990 a 2030.

Fuente: [Statista](#). Recuperado el 29/12/2014

Bajo esta premisa, se pretende que la UE contribuya a lograr la transición digital y ecológica. Sin embargo, al abordar la alta demanda de semiconductores con el propósito de facilitar la producción de tecnologías clave para la transición energética, (como vehículos eléctricos, sistemas de energía renovable, redes inteligentes y dispositivos de eficiencia energética) no se dimensiona el impacto en la manufactura que esto podría generar.

Por otra parte, también se han lanzado proyectos que buscan direccionar y definir lineamientos a profesionales en el área de la electrónica.

Proyecto GreenChip-Edu

Este proyecto busca acelerar la formación de profesionales cualificados en el ámbito de la microelectrónica mediante la implantación de nuevos grados y másteres que incluyan la sostenibilidad y la eficiencia energética en la capacitación de estos profesionales.

Por otra parte, busca definir a nivel europeo y de forma colaborativa, cuales son los contenidos de los programas de estudio en Ingeniería Electrónica y Arquitectura de Computadores para un futuro "más sostenible" con sistemas electrónicos más eficientes.

Si bien, el proyecto tiene como propósito profundizar en el diseño, la fabricación y las aplicaciones más limpias en la elaboración de chips, requiere implementar medidas

para no generar efectos adversos producto de un aumento de producción a nivel europeo.

Ahora, ¿De qué manera impacta el desarrollo de estas estrategias? ¿Son realmente sostenibles?

Emisiones de CO₂

La UE contribuye entre el 8-10 % de la capacidad de producción mundial de chips. Sin embargo, si se cumple el objetivo de la Ley de chips de la UE este porcentaje aumentaría al **20%**. Las **emisiones de la producción de chips de la UE** en 2021 ascendieron a entre **10,67 MMTCE** (Millones de Toneladas Métricas de Carbono Equivalente) y **13,67 MMTCE**, significativamente inferiores a los de otras industrias pesadas, como la química o la siderúrgica. En el caso en que este aumento de producción se llevara a cabo, en el mejor de los escenarios las emisiones se cuadruplicarían respecto a 2021, e incluso, podrían multiplicarse por ocho hasta **superar los 100 MMTCE**, superando las de la industria química de la UE, la industria siderúrgica de la UE y la aviación internacional de la UE (Hess, J., 2024).

E-Waste

Si analizamos la situación desde el punto de vista de la sostenibilidad, debemos tomar en cuenta que además de las emisiones asociadas al aumento de producción, está también el fin de vida que genera desechos electrónicos. Una vez finalizada la vida útil de los aparatos electrónicos, se estima que los residuos llegarán a 75 millones de toneladas en 2030. Sin embargo, solo un pequeño porcentaje (17,4 %) se elimina y recicla de forma adecuada, lo que genera riesgos ambientales y para la salud debido a la incineración y el vertido en vertederos (Hess, J., 2024). Esto contribuye a ampliar la ambición de reducir las emisiones de GEI y pensar de una forma de cerrar el ciclo de los aparatos electrónicos, pudiendo aprovechar los materiales una vez terminada esta etapa.

Producir un semiconductor

La producción de semiconductores es un proceso intensivo en recursos y energía, y tiene un impacto ambiental considerable producto del uso de materiales tóxicos, el consumo de energía, la contaminación del agua, las emisiones de CO₂ y la generación de residuos químicos y electrónicos.

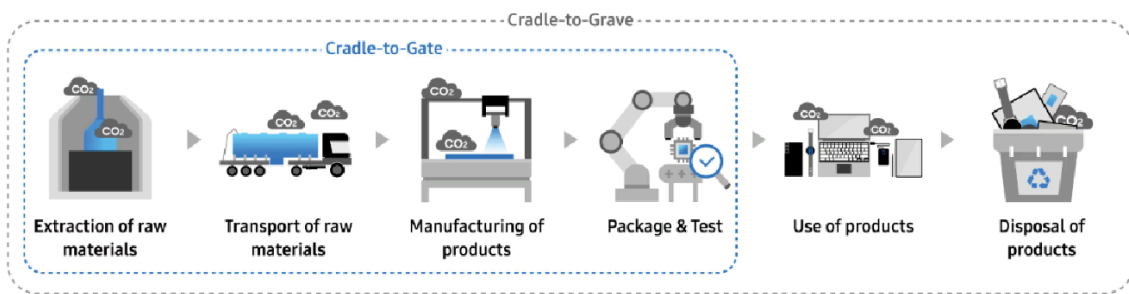


Figura 1. Proceso de evaluación del ciclo de vida de un chip. **Fuente:** [Samsung Semiconductor](#)

Las etapas que principalmente presentan un alto impacto ambiental son la extracción, la producción de materiales y la fabricación de semiconductores. Cabe destacar que, para llevar a cabo la elaboración de un microchip, uno de los materiales indispensables es el silicio. La extracción de este mineral implica la minería de grandes cantidades de roca, lo que genera impactos como la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de agua y suelo, además de un uso intensivo de energía.

La fabricación de semiconductores es un proceso extremadamente complejo y altamente contaminante. Implica el uso de una variedad de sustancias químicas tóxicas como ácidos o gases industriales y una gran cantidad de agua para limpiar las obleas de silicio. A su vez, genera un alto volumen de emisiones debido al consumo de electricidad, tanto en las fábricas de chips como en los procesos que requieren temperaturas extremadamente altas para la deposición de capas delgadas de materiales conductores.

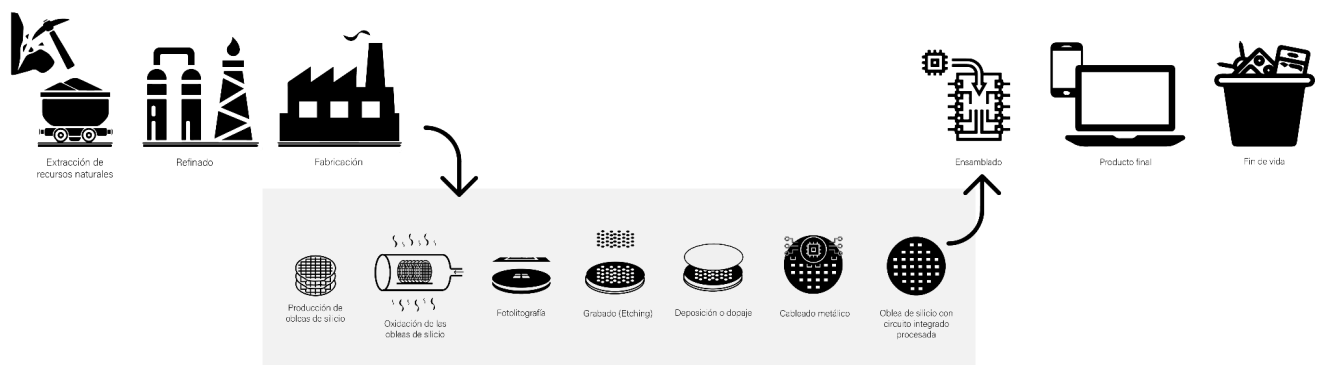


Figura 2. Proceso de producción de un chip. **Fuente:** *Elaboración propia.*

Dentro de las tres etapas de producción: diseño del chip, fabricación *front-end* (fabricación de los circuitos integrados en la oblea) y fabricación del *back-end*

(conexión del chip individual que se corta de la oblea al paquete del chip). **La fabricación front-end requiere más de 50 tipos de equipos y alrededor de 300 tipos de productos químicos en más de 1000 pasos del proceso.** (Hess, J. C. 2024,).

Por lo tanto, también es el paso de producción con el mayor impacto climático y ambiental.

Según el informe "*The Semiconductor Industry and Environmental Issues*" de la *Environmental Protection Agency (EPA)* se estima que una planta de fabricación de semiconductores **puede generar entre 1 y 3 toneladas de CO₂ por cada tonelada de microchip producido.** Por lo que tomar acción en estas etapas del proceso se hace fundamental para impulsar la industria Europea de semiconductores.

Pero ¿Por qué contamina tanto la producción de un semiconductor?

La fabricación de semiconductores consume una gran cantidad de energía debido a los factores técnicos y operacionales requeridos en el proceso de producción. El tamaño en nanómetros (nm) de las piezas con las que se trabaja, la precisión necesaria para llevar a cabo las operaciones, el uso de equipos especializados, los exhaustivos controles de temperatura, entre otros factores, son parte importante de lo que conlleva los niveles de contaminación.

Según datos proporcionados por la *SIA (Semiconductor Industry Association)*, los **procesos de fabricación** involucran etapas complejas como la litografía, el dopado, la deposición de capas finas, el grabado, la alineación de obleas, y pruebas de calidad. En el caso de la **litografía ultravioleta extrema (EUV)**, se utiliza luz ultravioleta extrema para grabar circuitos diminutos en las obleas de silicio. La generación de esta luz y el mantenimiento de las condiciones precisas para el proceso requieren grandes cantidades de energía.

El uso de equipos especializados para fabricar semiconductores como las cámaras de litografía y las máquinas de deposición de vapor químico (CVD), requieren alta energía para operar continuamente, estos necesitan sistemas de climatización y control ambiental que consumen energía adicional para mantener las condiciones precisas que requieren estos procesos.

Por otro lado, **la refrigeración y control de temperatura** debe ser mantenida en niveles extremadamente bajos o estables, lo que requiere sistemas de refrigeración avanzados y costosos. El silicio debe ser procesado en ambientes con temperaturas y presiones controladas para asegurar que las propiedades electrónicas del material no se vean alteradas.

La alta precisión y control necesaria para operar la fabricación de chips avanzados, rodea los 7 nm o 5 nm, lo que implica procesos de fabricación más complejos que, a su vez, requieren más energía para garantizar que los semiconductores se fabrican sin defectos.

Por último, y si bien, no es parte directamente del proceso de producción, **la energía asociada a la extracción de materias primas** como el oro, cobre, tungsteno, y principalmente el silicio (entre otros), representa una parte importante de los impactos. En el caso del oro, su extracción requiere generalmente el uso de cianuro para extraer el metal del mineral. En el caso del cobre, la minería se realiza generalmente a cielo abierto en ecosistemas naturales particulares, destruyendo grandes áreas de tierra y generando pérdida de biodiversidad. En el caso del tungsteno, su procesamiento genera residuos tóxicos que contienen arsénico, generando contaminación atmosférica y posiblemente del agua. Y en el caso del silicio, su purificación para obtener el silicio de grado semiconductor (alta pureza) es un proceso muy intensivo en energía, generando importantes emisiones de CO₂.

Los impactos de su producción

Medioambientales

Las **emisiones directas (Alcance 1) del proceso de fabricación, solo representan el 16 %** del total de las emisiones, seguido de **Alcance 2 que representa un 32 %** y por último - teniendo mayor peso - el **Alcance 3 con un 52 %**. Bajo este mismo escenario, la distribución de las emisiones del Alcance 1 por GEI se reparten de la siguiente manera: los PFC con una participación promedio del 45 %, equivalente a un 7,2 % del total, seguido por CO₂ con un 16 % (2,6 % del total), NF₃ con un 15 % (2,4 del total), N₂O con un 9 % (1,4 del total), y otros HTF (1,1 % del total), HFC (1 % del total) y SF₆ (0,3 % del total) (Henao, F., & Sarathy, S. M., 2023).

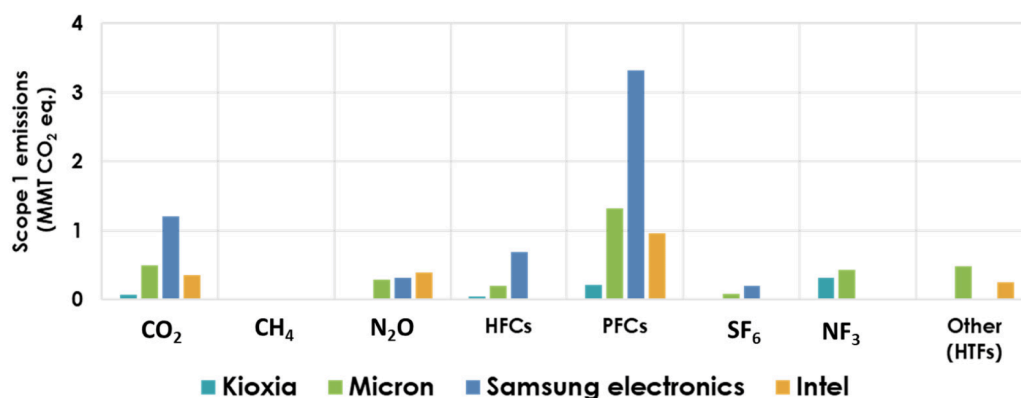


Gráfico 2. Desglose de las emisiones de Alcance 1 de Kioxia, Micron, Samsung Electronics e Intel en 2020.

Fuente: <https://doi.org/10.3390/su16010218>

Respecto al Alcance 3, es importante mencionar a qué corresponde la contribución de las emisiones. Estas se pueden deber a la categoría de bienes comprados, que incluye obleas de silicio, gases de proceso (nitrógeno, hidrógeno, silano, etc.), metales (oro, aluminio, cobre, etc.), productos químicos (fotorresistencias, disolventes, epoxis, ácidos, etc.), agua ultrapura, etc.

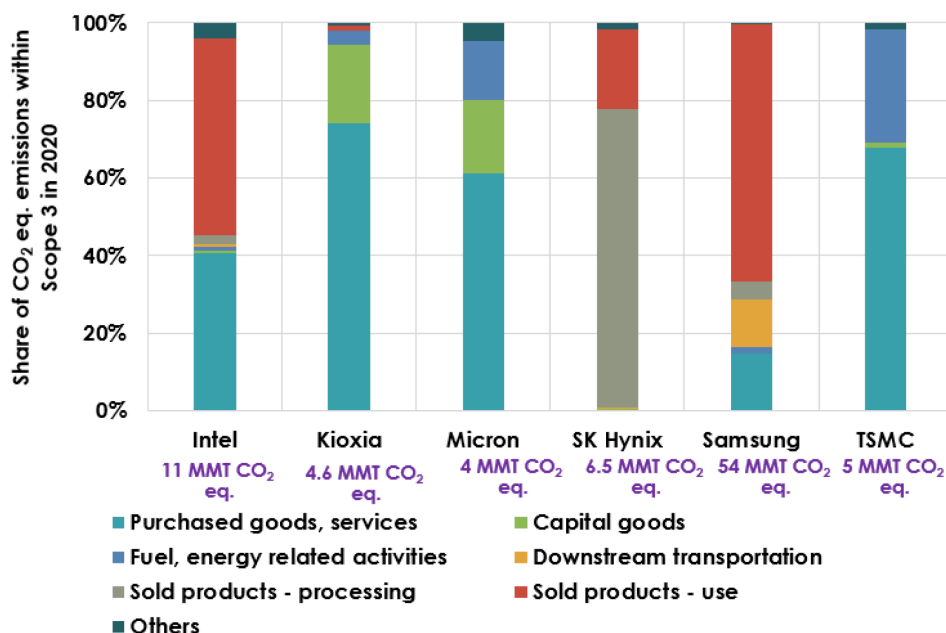


Gráfico 3. Desglose de las emisiones de Alcance 3 de las seis empresas en 2020.

Fuente: <https://doi.org/10.3390/su16010218>

En otro punto, no podemos ignorar el grave problema del uso del agua en la fabricación de chips. Cada capa, después de ser añadida a una oblea de silicio base, debe limpiarse exhaustivamente con agua ultrapura, que es miles de veces más limpia que el agua potable normal (Data Centre Review, 2021).

Sociales

En cuanto a los impactos sociales, la extracción de recursos está asociada a varios impactos negativos, como el trabajo esclavo, el trabajo en condiciones de servidumbre y el trabajo infantil en países como la República Democrática del Congo e Indonesia. En particular, la minería en la República Democrática del Congo está asociada a los denominados minerales de conflicto: el estaño, tungsteno (se extrae del wolframio), tantalio (se extrae del coltán) y oro (Amnesty International, 2016).

El hecho de que sean minerales asociados a conflictos bélicos implica la falta de derechos laborales, la promoción de un sistema de violencia, bajos salarios y condiciones de esclavitud. Por los constantes cambios en las estimaciones de producción, que terminan generando producción en masa, los trabajadores enfrentan largas jornadas extra y tienen pocos o ningún día de descanso. Los trabajadores

también están expuestos a materiales peligrosos en la fabricación, lo que resulta en graves problemas de salud.

Por otro lado, el mal manejo de los residuos asociados a esta industria también genera estos mismos impactos asociados a la precariedad a la que se ven expuestos a trabajar en la recuperación de material de los vertederos, la exposición a gases tóxicos en la quema de estos productos, generando problemas relevantes en una industria que promueve estas prácticas con la compra de estos minerales.

¿Qué pretende, propone o busca ser un green chip?

El concepto de informática ecológica o sostenible se ha asociado en gran medida a la reducción del consumo de energía de los dispositivos informáticos y su electrónica de apoyo durante su fase de uso. Sin embargo, para ser realmente sostenible, deben tenerse en cuenta todas las fases del ciclo de vida del sistema. En contraste con el importante esfuerzo que se ha realizado para abordar el consumo de energía en la fase de uso, especialmente en los sistemas integrados alimentados por baterías y en los servidores de los centros de datos, la atención que se presta a los efectos de la fabricación de sistemas informáticos y, en particular, de sus circuitos integrados (CI), es limitada (Kline et al., 2019).

Si bien, en los últimos años, el concepto de Green-Chip ha tenido mucha popularidad, es importante aclarar que no solo porque el nombre de un producto o servicio se le coloque "Green" como adjetivo debe asumirse que es amigable con el medio ambiente. Más bien, debería de cuestionarse en detalle el por qué se le llama así y cuáles son las características que debiese tener un dispositivo para ser considerado realmente sostenible. En el particular caso de los "Green-Chips" por el proceso de fabricación y la cantidad de materias que se utilizan es muy difícil que puedan llegar a ser amigables con el medio ambiente. En este caso, al solo disminuir los consumos energéticos, solo podríamos llamarle que son "chips bajos en consumos", pero no que lleguen a ser completamente amigables con el medio ambiente. Esto no solo pasa en el área electrónica o tecnológica, si no, en muchas otras áreas.

¿Es realmente posible? ¿De qué manera?

Si bien el concepto **Green apunta a "ser sostenible" en una industria altamente contaminante**, hoy en día existen maneras de reducir las emisiones asociadas a la producción de un semiconductor. Estas distintas iniciativas e investigaciones van desde la minería urbana, el reciclaje de partes y piezas, reducción del consumo energéticos en la fabricación y la extensión de la vida útil de los productos. De estas

maneras, se podría aumentar la ambición de que los microchips lleguen a ser más amigables con el medio ambiente, así como la reducción de sus emisiones de los GEI.

En primer lugar, es fundamental que se diseñen los CI para poder reutilizar los materiales y extender la vida útil que tienen, es decir, que puedan ser reparables o reciclables, para permitir un nuevo uso una vez que su funcionamiento vaya disminuyendo. Además, es primordial que se gestionen los recursos materiales que actualmente se tienen disponibles en Europa (*E-Waste*) para evitar la extracción de una mayor cantidad de recursos, y una mala gestión de los residuos.

Por otro lado, reducir el consumo energético en la fabricación de semiconductores es de suma importancia porque este proceso constituye la mayor fuente de emisiones de GEI en la producción de chips. Tomar medidas como los contratos de compra de energía representan un compromiso a largo plazo de compra de electricidad puesto que se estimula el desarrollo de nuevos proyectos de energías renovables a nivel local, generando una reducción tangible de emisiones, alineado con los objetivos basados en la ciencia para la acción climática.

Para generar estos cambios, es imprescindible que en las aulas de Ingeniería en electrónica se den a conocer los impactos y conocimientos de que su futuro trabajo podría contribuir a la disminución del impacto ambiental. Siendo de suma relevancia que se incorporen en los planes de estudio materias y proyectos que aborden directamente los desafíos actuales, fomentando la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras desde la etapa formativa.

¿Qué conocimientos se deben adoptar para que esta industria sea realmente más sostenible?

Para que la industria de los semiconductores transite hacia un futuro más sostenible, es necesario adoptar una combinación de conocimientos básicos de sostenibilidad que permitan visualizar, medir y cuantificar los impactos de una industria con proyección de constante crecimiento. Para esto es de suma importancia que se incorporen conocimientos técnicos que nos permitan realizar estas acciones y finalmente mitigar su impacto ambiental.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) nos permite visualizar la magnitud de los impactos ambientales, comparar productos con características similares e identificar oportunidades para la reducción de emisiones en los procesos productivos. Lo que facilita la proyección de semiconductores considerando el ciclo completo de producción.

Incorporar teoría de Economía Circular nos permite diseñar el producto para que sean más fáciles de reciclar y reutilizar. Reciclar semiconductores y otros componentes electrónicos al final de su vida útil permite recuperar materiales como el oro, plata, cobre y silicio, aprovechar residuos y reutilizar materiales al final de su vida útil.

Por otro lado, debe promoverse la investigación de nuevos materiales que permitan la sustitución de materiales tóxicos como NF_3 y SF_6 (gases con alto potencial de calentamiento global) por alternativas más limpias, o incluso la búsqueda de nuevos métodos de producción con materiales reciclados.

Por último, debe fortalecerse la enseñanza del correcto uso de la inteligencia artificial (IA) para mejorar los procesos de fabricación de semiconductores, hacerlos más precisos y eficientes, y reducir desperdicios a través de algoritmos predictivos que puedan optimizar la gestión de la energía y los recursos materiales en tiempo real.

A estos conocimientos, debe añadirse además la conciencia ambiental, ya que, hoy en día, la eficiencia o reducción de emisiones de un producto genera un "efecto rebote", perpetuando el estado actual del medio ambiente, el aumento de emisiones y la crisis climática mundial.

Bibliografía

Amnesty International. (2016). " *This is what We Die For*": Human Rights Abuses in the Democratic Republic of the Congo Power the Global Trade in Cobalt. Amnesty International. Recuperado de <https://www.amnesty.org/en/documents/afr62/3183/2016/en/>

Data Centre Review. (2021). *How 'green chips' are powering a sustainable future*. Recuperado de: <https://datacentrereview.com/2021/12/how-green-chips-are-powering-a-sustainable-future/>

Henao, F., & Sarathy, S. M. (2023). Cleaner chips: Decarbonization in semiconductor manufacturing. *Sustainability*, 16(1), 218. <https://doi.org/10.3390/su16010218>

Hess, J. C. (2024). *Chip Production's Ecological Footprint: Mapping Climate and Environmental Impact*. Interface. Consultado en: <https://www.interface-eu.org/publications/chip-productions-ecological-footprint>

Kline, D., Parshook, N., Ge, X., Brunvand, E., Melhem, R., Chrysanthos, P. K., & Jones, A. K. (2019). GreenChip: A tool for evaluating holistic sustainability of modern computing systems. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 22, 322–332. Consultado en: <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2017.10.001>

Nagapurkar, P., & Das, S. (2022). Economic and embodied energy analysis of integrated circuit manufacturing processes. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, 100771. Consultado en: <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100771>

Sheldon, R. (2022). What is a microchip? *TechTarget*. Recuperado el 26 de diciembre de 2024, de <https://www.techtarget.com/whatis/definition/microchip>

Semiconductor Industry Association (SIA) & Boston Consulting Group (BCG). (2021). *Strengthening the global semiconductor value chain*. Consultado en: https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf

Plepys, A. (2004). The environmental impacts of electronics. Going beyond the walls of semiconductor fabs. *Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment* (pp. 29-34). IEEE. Consultado en: <https://doi.org/10.1109/ISEE.2004.1299707>