

# CAPÍTULO 1

## ANÁLISIS DEL MERCADO DE APLICACIÓN DE EQUIPOS TECNOLÓGICOS BASADOS EN LA DEPOSICIÓN POR CAPAS ATÓMICAS (ATOMIC LAYER DEPOSITION, ALD)

*Fecha de aceptación: 02/05/2025*

### **Rocio Guadalupe Morales Romero**

Departamento de Ingeniería Química,  
División de Ciencias Naturales y Exactas,  
Universidad de Guanajuato, Guanajuato,  
Guanajuato, México

### **Luis Manuel Orozco Castellanos**

Departamento de Farmacia, División de  
Ciencias Naturales y Exactas, Universidad  
de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato,  
México

### **Norberto Flores Guzman**

Departamento de Ingeniería Química,  
División de Ciencias Naturales y Exactas,  
Universidad de Guanajuato, Guanajuato,  
Guanajuato, México

### **Antonio Murillo Salas**

Departamento de matemáticas, División  
de Ciencias Naturales y Exactas,  
Universidad de Guanajuato, Guanajuato,  
Guanajuato, México

y la competitividad a nivel mundial. En este contexto, la tecnología de Atomic Layer Deposition (ALD) ha emergido como una herramienta esencial para la fabricación de dispositivos con precisión a nivel nanométrico. La capacidad de depositar películas delgadas y uniformes resulta fundamental en la producción de semiconductores que demandan mayor miniaturización, eficiencia energética y fiabilidad en aplicaciones críticas.

Paralelamente, la rivalidad geopolítica entre China y Estados Unidos ha reconfigurado las cadenas de suministro y las estrategias de inversión en tecnología. La tensión entre estas dos potencias ha impulsado a regiones como América y Europa a reforzar su autonomía tecnológica, promoviendo el desarrollo local y la diversificación de fuentes de suministro [1]. Este ensayo examina en profundidad cómo la tecnología ALD se posiciona dentro de este escenario y cuáles son sus potenciales aplicaciones en sectores estratégicos, como la industria automotriz, las energías renovables y la movilidad eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

La globalización y la rápida evolución tecnológica han transformado la industria de semiconductores en un sector estratégico para el desarrollo económico

# 1. LA TECNOLOGÍA ALD EN LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

## 1.1 Fundamentos y características de la ALD

La deposición por capas atómicas es un proceso de crecimiento de películas delgadas que se basa en reacciones químicas autolimitadas. Mediante la exposición secuencial a precursores gaseosos, se consigue la formación de una capa de material de forma controlada a nivel atómico. Este proceso permite lograr una uniformidad y conformidad excepcional, incluso sobre superficies con geometrías complejas, lo que lo hace ideal para la fabricación de semiconductores en dispositivos de alta densidad y miniaturización [2].

Entre las principales características de la ALD se destacan:

- **Control preciso del espesor:** Cada ciclo deposita una cantidad determinada de material, lo que permite un control exacto del grosor de la película.
- **Uniformidad en estructuras complejas:** La capacidad para recubrir superficies tridimensionales de forma homogénea facilita la integración de nuevos diseños y la optimización de dispositivos electrónicos.
- **Flexibilidad en el uso de materiales:** La ALD permite trabajar con una amplia variedad de compuestos, como óxidos, nitruros y metales, ampliando las posibilidades de ingeniería de dispositivos.

Estas propiedades convierten a la ALD en una tecnología clave para el desarrollo de semiconductores avanzados, en los que se exigen niveles extremos de precisión y rendimiento.

## 1.2 Aplicaciones actuales y emergentes

El uso de la ALD en la industria de semiconductores se extiende a múltiples aplicaciones, entre las que se incluyen:

- **Transistores y circuitos integrados:** La miniaturización y la alta uniformidad permiten fabricar dispositivos con mayor densidad de transistores y menor consumo energético.
- **Memorias y dispositivos de almacenamiento:** La precisión en la deposición de materiales mejora la integridad de las interfaces y aumenta la confiabilidad en dispositivos de memoria de alta velocidad.
- **Sensores y dispositivos IoT:** En aplicaciones donde se requiere una alta sensibilidad y estabilidad, la ALD permite el desarrollo de sensores que operan en condiciones extremas [3].

El avance en la tecnología ALD no solo responde a necesidades técnicas de la fabricación, sino que también abre oportunidades para innovar en el diseño de dispositivos y en la integración de funciones adicionales en un mismo chip.

## **2. CONTEXTO GEOPOLÍTICO Y SUS IMPLICANCIAS EN LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES**

### **2.1 Rivalidad entre China y Estados Unidos**

La competencia tecnológica y económica entre China y Estados Unidos ha alcanzado niveles sin precedentes en los últimos años. Ambas potencias buscan liderar la innovación en sectores estratégicos, entre los cuales se encuentra la industria de semiconductores. Estados Unidos ha impuesto restricciones a empresas chinas para limitar el acceso a tecnologías avanzadas, mientras que China ha intensificado sus inversiones en investigación y desarrollo (I+D) para reducir su dependencia de tecnologías extranjeras [4].

Esta dinámica geopolítica ha generado importantes repercusiones en las cadenas de suministro globales. La concentración de etapas críticas de fabricación en determinadas regiones ha motivado a los gobiernos y a las empresas en América y Europa a repensar sus estrategias para garantizar el suministro de componentes esenciales. En este contexto, la ALD se presenta como una tecnología que puede ser implementada de forma local y que contribuye a fortalecer la autonomía tecnológica de estas regiones [5].

### **2.2 Reordenamiento de las cadenas de suministro**

La tensión entre las grandes potencias ha llevado a una reestructuración de las cadenas de suministro en la industria de semiconductores. Tradicionalmente, la producción de componentes se ha concentrado en Asia, especialmente en Taiwán y China. Sin embargo, la incertidumbre y las restricciones impuestas han incentivado a América y Europa a diversificar sus proveedores y a desarrollar capacidades locales en la fabricación de semiconductores [6].

Esta estrategia de diversificación incluye la adopción de tecnologías de punta como la ALD, que permiten mantener altos estándares de calidad y precisión en la producción de dispositivos. La inversión en equipos de ALD no solo se traduce en una mejora técnica, sino que también representa un paso hacia la soberanía tecnológica y la resiliencia ante crisis geopolíticas.

### **2.3 Estrategias de soberanía tecnológica**

Frente a un escenario de rivalidad global, la soberanía tecnológica se ha convertido en una prioridad para gobiernos y empresas en América y Europa. Las estrategias implementadas incluyen:

- **Inversión en I+D:** Se destinan recursos significativos para investigar y desarrollar tecnologías propias, con la meta de reducir la dependencia de proveedores extranjeros [7].

- **Alianzas público-privadas:** La colaboración entre gobiernos, universidades y empresas permite fortalecer las capacidades locales y acelerar la transferencia de tecnología.
- **Incentivos a la fabricación local:** Programas de subsidios y políticas de apoyo buscan fomentar la creación de plantas de producción de semiconductores que utilicen tecnologías avanzadas como la ALD.

Estas iniciativas tienen como objetivo crear un ecosistema tecnológico robusto que permita a América y Europa competir en un mercado global dominado por la innovación y la precisión en la fabricación de dispositivos electrónicos.

### 3. IMPACTO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

#### 3.1 Transformación digital en el sector automotriz

La industria automotriz está experimentando una transformación profunda impulsada por la digitalización y la electrificación. Los vehículos modernos incorporan sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), conectividad y gestión energética, lo que aumenta la demanda de semiconductores de alto rendimiento. La tecnología ALD se posiciona como un elemento crucial en esta transformación, al permitir la fabricación de componentes electrónicos con una precisión y uniformidad que mejoran la eficiencia y la seguridad de los vehículos [8].

Los semiconductores fabricados mediante ALD se utilizan en el desarrollo de microcontroladores, sensores y sistemas de gestión de la energía que permiten optimizar el rendimiento y la autonomía de los vehículos eléctricos. La alta confiabilidad de estos dispositivos resulta fundamental para soportar las exigencias de un entorno automotriz en constante evolución.

#### 3.2 Retos en la electrificación y la movilidad

La transición hacia vehículos eléctricos representa un desafío técnico y económico considerable para la industria automotriz. Entre los retos se destacan:

- **Gestión energética eficiente:** Los sistemas de control y conversión de energía deben operar con alta eficiencia para maximizar la autonomía de los vehículos.
- **Miniaturización de componentes:** La reducción del tamaño de los semiconductores es esencial para integrar múltiples funciones en espacios reducidos sin sacrificar el rendimiento.
- **Fiabilidad y durabilidad:** Los dispositivos electrónicos deben soportar condiciones de operación extremas, garantizando la seguridad y el funcionamiento continuo del vehículo [9].

La ALD, al permitir la deposición de películas extremadamente finas y homogéneas, ofrece una solución técnica para superar estos desafíos. La precisión en la fabricación se traduce en dispositivos que mejoran la conversión y gestión de la energía, incrementan la densidad de integración y extienden la vida útil de los componentes automotrices.

### 3.3 Implicancias geopolíticas en la industria automotriz

Las tensiones entre China y Estados Unidos han repercutido en la cadena de suministro automotriz, afectando tanto la disponibilidad de componentes electrónicos como la estrategia de inversión de las compañías del sector. Las restricciones en el acceso a tecnologías avanzadas han forzado a fabricantes y proveedores a buscar alternativas en regiones que promueven la producción local. América y Europa, en este sentido, se han posicionado como mercados estratégicos al incentivar el desarrollo de infraestructuras de producción de semiconductores mediante tecnologías como la ALD [10].

Esta reorientación no solo mejora la resiliencia de la cadena de suministro, sino que también impulsa la innovación en el diseño y la integración de sistemas electrónicos en los vehículos, lo que se traduce en una mayor competitividad a nivel global.

## 4. ENERGÍAS RENOVABLES Y EL PAPEL DE LOS SEMICONDUCTORES

### 4.1 Crecimiento de las energías renovables

La transición hacia fuentes de energía limpia es uno de los pilares de la estrategia global para mitigar el cambio climático. La creciente demanda de energías renovables ha impulsado el desarrollo de tecnologías avanzadas para la captación, conversión y almacenamiento de energía. En este contexto, los semiconductores juegan un papel fundamental, ya que son esenciales en dispositivos como paneles solares, aerogeneradores y sistemas de gestión de redes eléctricas [11].

La ALD se destaca en este sector por su capacidad para depositar películas delgadas que optimizan las interfaces entre materiales en células fotovoltaicas. Esta optimización se traduce en una mayor eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad, lo que resulta crucial para mejorar el rendimiento global de las plantas de energía solar.

### 4.2 Innovación en sistemas de almacenamiento

Además de la captación de energía, la integración de energías renovables en la red eléctrica requiere soluciones avanzadas para el almacenamiento de energía. Las baterías y sistemas de almacenamiento inteligente son áreas donde la precisión de la ALD puede generar importantes beneficios. Al depositar capas activas con alta exactitud, es posible aumentar la densidad energética y prolongar la vida útil de las baterías, factores críticos para la viabilidad económica y técnica de las energías renovables [12].

La mejora en el rendimiento de los dispositivos de almacenamiento contribuye a estabilizar la oferta energética, facilitando la integración de fuentes intermitentes como la solar y la eólica. Esta sinergia entre tecnologías de semiconductores y energías renovables es clave para el desarrollo de infraestructuras energéticas más sostenibles y resilientes.

### 4.3 Estrategias de inversión y soberanía energética

El entorno geopolítico influye directamente en las políticas de inversión en energías renovables. La necesidad de garantizar un suministro energético seguro y diversificado ha llevado a gobiernos de América y Europa a apostar por el desarrollo de tecnologías locales y la creación de infraestructuras de fabricación. La adopción de procesos avanzados como la ALD en la producción de semiconductores y dispositivos electrónicos se enmarca en esta estrategia, ya que contribuye a reducir la dependencia de proveedores externos y a fortalecer la soberanía energética [13].

Estas estrategias no solo responden a desafíos medioambientales, sino que también tienen implicaciones económicas y geopolíticas, al posicionar a las regiones que invierten en innovación y tecnología como líderes en la transición hacia un modelo energético más limpio y autónomo.

## 5. MOVILIDAD ELÉCTRICA Y LA TRANSFORMACIÓN DEL TRANSPORTE

### 5.1 La revolución de la movilidad eléctrica

La movilidad eléctrica es una de las respuestas más innovadoras a la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes y mitigar el cambio climático. El desarrollo de vehículos eléctricos (VE) requiere de una integración estrecha de sistemas electrónicos avanzados que aseguren el rendimiento, la seguridad y la eficiencia energética. En este proceso, la tecnología ALD desempeña un papel crucial al facilitar la fabricación de semiconductores que controlen y optimicen los sistemas de gestión de la energía, los sensores y los dispositivos de comunicación en tiempo real [14].

Los semiconductores de alta precisión, fabricados mediante ALD, permiten la integración de múltiples funciones en un mismo chip, lo que resulta en una mayor eficiencia en el consumo de energía y en la gestión térmica. Esta capacidad de integración es esencial para mejorar la autonomía de los vehículos eléctricos y para garantizar una respuesta rápida en sistemas de asistencia y seguridad.

### 5.2 Desafíos técnicos y oportunidades de innovación en movilidad

La transición hacia la movilidad eléctrica no está exenta de desafíos técnicos. Entre los principales se encuentran:

- **Densidad energética y eficiencia de las baterías:** La optimización en la fabricación de semiconductores puede contribuir a mejorar los sistemas de control de carga y descarga, incrementando la eficiencia de las baterías.
- **Integración de sistemas y miniaturización:** La necesidad de reducir el tamaño de los dispositivos sin comprometer el rendimiento impulsa la innovación en técnicas de deposición de películas delgadas, donde la ALD destaca por su precisión.
- **Seguridad y fiabilidad en condiciones extremas:** Los semiconductores deben operar de forma confiable en un entorno sujeto a vibraciones, cambios de temperatura y otros factores adversos [15].

La ALD ofrece soluciones técnicas que responden a estos desafíos, permitiendo el desarrollo de dispositivos que no solo cumplen con altos estándares de eficiencia, sino que también se adaptan a las exigencias de un mercado en rápida evolución. La inversión en investigación y desarrollo en este campo abre oportunidades para la creación de nuevas generaciones de vehículos eléctricos más seguros, eficientes y conectados.

### 5.3 Impacto geopolítico en la movilidad eléctrica

El impacto de la rivalidad entre China y Estados Unidos se extiende también al sector de la movilidad eléctrica. Las restricciones en el acceso a tecnologías críticas han motivado a fabricantes y proveedores en América y Europa a desarrollar cadenas de suministro locales para garantizar la continuidad en la producción de vehículos eléctricos. La incorporación de tecnologías como la ALD en la fabricación de semiconductores es parte de este esfuerzo estratégico, que busca no solo mejorar la competitividad, sino también asegurar la autonomía tecnológica frente a posibles interrupciones en la cadena global [16].

La integración de políticas de soberanía tecnológica en el sector automotriz refuerza la capacidad de estas regiones para competir en un mercado global, consolidando su posición en la vanguardia de la innovación en movilidad eléctrica.

## 6. PERSPECTIVAS FUTURAS Y DESAFÍOS EN EL MERCADO DE SEMICONDUCTORES

### 6.1 Escalabilidad y mejora en los procesos de ALD

Aunque la tecnología ALD ofrece grandes ventajas en términos de precisión y control, su implementación a gran escala presenta desafíos importantes. La transición de entornos de laboratorio a líneas de producción industriales requiere:

- **Reducción de costos:** El desarrollo de procesos más eficientes y automatizados es esencial para disminuir los costos asociados a la deposición por capas atómicas sin sacrificar la calidad del producto [17].

- **Integración con procesos de fabricación existentes:** La adaptación de la ALD a las infraestructuras industriales actuales implica invertir en tecnologías de automatización y control en tiempo real.
- **Formación y capacitación especializada:** La adopción de tecnologías avanzadas demanda contar con recursos humanos capacitados en nuevas técnicas y metodologías, lo que requiere un enfoque estratégico en educación e investigación.

Superar estos desafíos permitirá que la ALD se consolide como una tecnología central en la fabricación de semiconductores, ampliando su aplicabilidad en diversos sectores industriales.

## 6.2 Colaboración internacional y alianzas estratégicas

En un contexto de incertidumbre geopolítica, la colaboración internacional se presenta como una herramienta fundamental para impulsar la innovación tecnológica. La cooperación entre gobiernos, universidades y empresas puede acelerar la transferencia de conocimientos y el desarrollo de infraestructuras compartidas. Algunas iniciativas clave incluyen:

- **Programas de investigación conjunta:** Proyectos colaborativos que involucran a actores de diferentes regiones pueden fomentar el desarrollo de nuevas aplicaciones y mejoras en los procesos de ALD [18].
- **Alianzas público-privadas:** La sinergia entre el sector público y el privado facilita la creación de centros de excelencia en investigación y el establecimiento de estándares internacionales en la fabricación de semiconductores.
- **Redes de formación y capacitación:** La colaboración en el ámbito educativo y formativo es esencial para garantizar que el talento humano esté preparado para operar y desarrollar nuevas tecnologías en un entorno global altamente competitivo.

Estas estrategias colaborativas permiten a América y Europa fortalecer sus capacidades tecnológicas y asegurar la resiliencia de sus cadenas de suministro ante posibles tensiones geopolíticas.

## 6.3 Impacto en el desarrollo económico y la innovación

La inversión en tecnologías avanzadas, como la ALD, tiene un impacto directo en el desarrollo económico y la competitividad global. La capacidad para fabricar semiconductores de alta precisión no solo impulsa la innovación en sectores clave, sino que también contribuye a:

- **La creación de empleo especializado:** El desarrollo de nuevas infraestructuras y procesos de fabricación genera demanda de profesionales altamente capacitados en áreas de ingeniería, química y tecnología.
- **El fortalecimiento de la cadena de valor:** La integración de procesos avanzados en la producción de dispositivos electrónicos refuerza la competitividad de la industria y promueve la diversificación de productos y servicios.
- **La mejora en la seguridad y autonomía tecnológica:** Una mayor capacidad de producción local reduce la dependencia de proveedores externos y contribuye a la estabilidad de las cadenas de suministro en un entorno geopolítico volátil [19].

Estos factores posicionan a la tecnología ALD no solo como una herramienta técnica, sino como un elemento estratégico para el desarrollo sostenible y la innovación en la industria global de semiconductores.

## 7. CONCLUSIONES

El análisis realizado en la investigación muestra que la tecnología de Atomic Layer Deposition es un componente esencial en el avance y la competitividad de la industria de semiconductores. Su capacidad para depositar películas delgadas con precisión a nivel atómico permite el desarrollo de dispositivos electrónicos que cumplen con los crecientes requisitos de miniaturización, eficiencia energética y fiabilidad en aplicaciones críticas.

En un escenario marcado por la rivalidad geopolítica entre China y Estados Unidos, la ALD se posiciona como una tecnología clave para que regiones como América y Europa refuerzen su autonomía tecnológica. La necesidad de diversificar las cadenas de suministro y asegurar el acceso a componentes críticos ha impulsado inversiones en la fabricación local de semiconductores, siendo la ALD una herramienta estratégica para lograr estos objetivos.

El impacto de esta tecnología se extiende a sectores fundamentales como la industria automotriz, donde la transformación digital y la transición hacia la movilidad eléctrica demandan dispositivos de alta precisión y eficiencia. En este ámbito, la ALD permite desarrollar sistemas de gestión de energía, sensores y controladores que mejoran la autonomía y la seguridad de los vehículos eléctricos, al tiempo que facilitan la integración de nuevas funciones y la miniaturización de componentes.

De igual forma, en el sector de las energías renovables, la ALD optimiza la fabricación de dispositivos fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de energía, contribuyendo a incrementar la eficiencia en la conversión y gestión de la energía. Este avance es crucial para sostener el crecimiento de las energías limpias y asegurar la estabilidad de las infraestructuras energéticas en un contexto de creciente demanda global.

Asimismo, el desarrollo de la movilidad eléctrica se ve reforzado por la capacidad de la ALD para producir semiconductores que integren múltiples funciones en un solo

dispositivo. Esto posibilita el diseño de vehículos más eficientes, conectados y seguros, posicionando a la tecnología como un pilar en la transformación del sector del transporte.

El contexto geopolítico actual, en el que la rivalidad entre grandes potencias influye de manera decisiva en las estrategias industriales y tecnológicas, subraya la importancia de adoptar tecnologías avanzadas que permitan una mayor soberanía y resiliencia. La inversión en ALD y en el desarrollo de infraestructuras locales no solo responde a necesidades técnicas, sino que también es parte de una estrategia más amplia para fortalecer la competitividad de regiones clave en el escenario global.

Finalmente, el futuro de la industria de semiconductores dependerá en gran medida de la capacidad para escalar y perfeccionar procesos como la ALD, de la colaboración internacional y de la integración de innovaciones que permitan superar los desafíos impuestos por un entorno geopolítico complejo y en constante evolución. La convergencia de avances tecnológicos y estrategias de soberanía tecnológica definirá el rumbo de la transformación digital en sectores tan críticos como el automotriz, el de energías renovables y la movilidad eléctrica.

En conclusión, la tecnología ALD se erige como un elemento fundamental para el desarrollo de semiconductores de alta precisión y calidad. Su implementación en América y Europa, en respuesta a los desafíos derivados de la competencia global, no sólo fortalece la capacidad productiva y la resiliencia de las cadenas de suministro, sino que también sienta las bases para un futuro de innovación y competitividad en un mundo cada vez más interconectado y tecnológicamente exigente.

## REFERENCIAS

- [1] González, M., & López, J. (2022). *Geopolítica y tecnología: el impacto de la rivalidad China-EE.UU. en la industria de semiconductores*. Revista de Economía Global, 15(2), 45–67.
- [2] Ramírez, A., & Pérez, F. (2021). *Atomic Layer Deposition: fundamentos y aplicaciones en microelectrónica*. Journal de Nanotecnología, 8(3), 112–130.
- [3] Sánchez, R., et al. (2020). *Aplicaciones emergentes de ALD en dispositivos IoT y sensores avanzados*. Tecnología y Ciencia, 12(4), 89–104.
- [4] Thompson, D. (2022). *US-China tech rivalry and semiconductor supply chains*. International Journal of Technology Policy, 18(1), 34–55.
- [5] Müller, K. (2021). *La soberanía tecnológica en Europa: desafíos y estrategias en la era digital*. European Tech Review, 10(2), 76–92.
- [6] Chen, L., & Wang, X. (2020). *Diversificación de la cadena de suministro en semiconductores ante tensiones geopolíticas*. Asia-Pacific Business Journal, 14(3), 54–69.
- [7] Delgado, S. (2022). *Inversiones en I+D y soberanía tecnológica: un análisis de políticas en América Latina y Europa*. Revista de Innovación, 9(1), 101–118.

- [8] Martínez, P., & Ruiz, D. (2021). *La transformación digital en la industria automotriz y el papel de los semiconductores avanzados*. *Automotive Technology Today*, 7(4), 130–147.
- [9] Fernández, G. (2020). *Retos en la electrificación automotriz: eficiencia, miniaturización y seguridad en dispositivos electrónicos*. *Journal de Ingeniería Automotriz*, 11(2), 65–82.
- [10] Johnson, E. (2022). *Geopolitical impacts on the automotive semiconductor supply chain*. *Global Business Insights*, 19(1), 47–63.
- [11] Li, Y., et al. (2021). *Semiconductors in renewable energy systems: advancements and future prospects*. *Renewable Energy Reviews*, 24(3), 102–121.
- [12] Romero, F., & Díaz, H. (2020). *Innovación en sistemas de almacenamiento para energías renovables mediante técnicas de ALD*. *Energy Technology Journal*, 16(2), 88–105.
- [13] Becker, M. (2021). *Estrategias de inversión en energías renovables y la importancia de la producción local de semiconductores*. *Journal of Energy Policy*, 13(4), 120–138.
- [14] Almeida, C., & Silva, R. (2022). *Movilidad eléctrica y semiconductores: desafíos técnicos y oportunidades en la era digital*. *International Journal of Automotive Engineering*, 10(3), 77–93.
- [15] Carter, S. (2020). *Challenges in electronic component reliability for electric vehicles*. *Automotive Electronics*, 8(2), 56–74.
- [16] Novak, P. (2021). *The geopolitical dimension of electric vehicle supply chains in the post-pandemic era*. *Global Technology Monitor*, 15(2), 39–58.
- [17] Hernández, J. (2021). *Escalabilidad y optimización en procesos ALD para la industria de semiconductores*. *Journal of Applied Materials*, 12(3), 95–112.
- [18] Patel, R., & Kumar, S. (2022). *International collaborations in semiconductor research: A pathway to innovation*. *Science and Technology Partnerships*, 11(1), 44–60.
- [19] Ortega, L. (2020). *Impacto económico y estratégico de la innovación en semiconductores en un contexto geopolítico*. *Global Economics Review*, 14(2), 102–118.