

Semiconductores como Proyecto Nacional del Tecnológico Nacional de México

Semiconductors as a National Project of the Tecnológico Nacional de México

Iraam Antonio López Salas

Tecnológico Nacional de México, México

iraam.ls@aguascalientes.tecnm.mx

Luis Alberto Escalera Velasco

Tecnológico Nacional de México, México

luis.ev@aguascalientes.tecnm.mx

Resumen:

La industria electrónica es el motor de la innovación tecnológica, los avances en el diseño de microprocesadores, sensores y dispositivos electrónicos impulsan la creación de nuevas tecnologías y productos, como smartphones, computadoras, electrodomésticos inteligentes y dispositivos médicos avanzados que han revolucionado la forma en que las personas se comunican y se conectan, transformando la vida cotidiana. La Internet, las redes móviles, el Internet de las Cosas (IoT) y las tecnologías de comunicación de próxima generación, como el 5G, dependen de componentes y sistemas electrónicos avanzados. Por lo que la industria electrónica es una de las industrias más grandes y de más rápido crecimiento en la economía global.

Muchos procesos automatizados que usan circuitos electrónicos, tanto a nivel industrial, como comercial y doméstico, permiten un uso más racional y eficiente de recursos materiales y energéticos. Esto hace que la electrónica sea fundamental para industrias clave como la automotriz, la aeroespacial, de la salud, la manufactura y la generación de energía. Por ejemplo, los automóviles modernos dependen en gran medida de componentes electrónicos para el control del motor, permitiendo una mayor eficiencia en el uso del combustible y mejorando los sistemas de seguridad. Es por eso por lo que la industria electrónica está desempeñando un papel crucial en la sostenibilidad y la eficiencia energética. Innovaciones en tecnología verde, como paneles solares, baterías avanzadas y dispositivos de eficiencia energética, son esenciales para abordar los desafíos ambientales y promover un desarrollo sostenible.

Considerando la importancia de la industria electrónica y de semiconductores de la actualidad, el Tecnológico Nacional de México inicia en 2023 el Proyecto Nacional de Semiconductores, para incorporar a su actividad académica los temas relevantes de esta industria, buscando incorporar de manera importante la ingeniería mexicana a la industria global de los semiconductores.

Abstract:

The electronics industry is the engine of technological innovation, advances in the microprocessors design, sensors and electronic devices drive the creation of new technologies and products, such as smartphones, computers, smart home appliances and advanced medical devices, have revolutionized the way people communicate and connect, transforming lives. everyday. The Internet, mobile networks, the Internet of Things (IoT), and next-generation communication technologies such as 5G depend on advanced electronic components and systems. Electronic Industry is one of the largest and fastest growing industries in the global economy. Many automated processes using electronic circuits, at an industrial, commercial and domestic level, allow a more rational and efficient use of material and energy resources. This makes electronics critical to key industries such as automotive, aerospace, healthcare, manufacturing and power generation. For example, modern automobiles rely heavily on electronic components for engine control, enabling greater fuel efficiency, improving safety systems. That is why the electronics industry is playing a crucial role in sustainability and energy efficiency. Innovations in green technology, such as solar panels, advanced batteries and energy-efficient devices, are essential to address environmental challenges and promote sustainable development.

Considering the importance of today's electronic and semiconductor industry, the Tecnológico Nacional de México TecNM, begins the National Semiconductor Project in 2023, to incorporate the relevant topics of this industry into its academic activity, seeking to significantly incorporate Mexican engineering into the global semiconductor industry.

INTRODUCCIÓN

La tecnología electrónica es vital para la seguridad nacional y la defensa de los países; los sistemas de comunicación, radares, satélites, drones y otros equipos militares dependen de tecnologías electrónicas avanzadas. Es una piedra angular de la transformación digital, habilitando tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la robótica, la realidad virtual y aumentada, y la computación en la nube, están cambiando la forma en que vivimos y trabajamos. En el aspecto económico, la industria electrónica es

altamente globalizada, con cadenas de suministro que abarcan múltiples países, esto fomenta el comercio internacional y las relaciones económicas entre naciones. Países como China, Estados Unidos, Japón, Corea del Sur y Alemania son líderes en la producción y exportación de productos electrónicos que generan trillones de dólares en ingresos y crean millones de empleos en todo el mundo, desde la investigación y el desarrollo hasta la fabricación, el marketing y la distribución.

La industria electrónica moderna está basada en los materiales semiconductores, estos son la columna vertebral de la electrónica moderna ya que se utilizan en la fabricación de dispositivos fundamentales como transistores, diodos y circuitos integrados, que son componentes esenciales en prácticamente todos los dispositivos electrónicos. El uso de materiales semiconductores ha permitido la miniaturización de componentes electrónicos, lo que ha llevado al desarrollo de dispositivos más pequeños, más rápidos y eficientes. Los microprocesadores y los circuitos electrónicos están hechos de materiales semiconductores como el silicio, estos dispositivos son esenciales para el funcionamiento de computadoras y servidores, lo que los hace vitales para la industria de la computación.

La infraestructura de comunicaciones modernas también depende en gran medida de los semiconductores. Los dispositivos como teléfonos móviles, redes de telecomunicaciones y sistemas de transmisión de datos utilizan componentes semiconductores para funcionar, también juegan un papel crucial en la gestión y conversión de energía. Los dispositivos como paneles solares, LEDs, y controladores de eficiencia energética utilizan materiales semiconductores para mejorar la conversión y el uso de energía de manera más eficiente. En la industria de la automoción y en sistemas de automatización industrial, los semiconductores son esenciales para la operación de sensores, actuadores y sistemas de control. Los vehículos eléctricos y los sistemas de gestión de energía utilizan semiconductores para mejorar el rendimiento y la eficiencia.

Los dispositivos médicos avanzados, como escáneres de resonancia magnética, equipos de ultrasonido y dispositivos portátiles de monitoreo de salud, dependen de los semiconductores para su funcionamiento. Estos materiales permiten una mejor precisión y funcionalidad en el diagnóstico y tratamiento médico. Son fundamentales para el desarrollo de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la realidad aumentada y virtual, y la computación cuántica. Estas tecnologías dependen de la capacidad de los semiconductores para manejar grandes cantidades de datos y realizar operaciones complejas. La investigación en materiales semiconductores ha llevado al desarrollo de superconductores como el arseniuro de galio (GaAs) y el nitruro de galio (GaN), que tienen propiedades eléctricas de conducción superiores que están impulsando nuevas áreas de desarrollo tecnológico, por ejemplo, para el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento de datos, como las unidades de estado sólido (SSD), que ofrecen mayores velocidades de proceso en comparación con los métodos tradicionales de almacenamiento (Kaeslin, 2008).

La industria electrónica y de semiconductores, en definitiva, son de las más importantes a nivel global, con un impacto económico significativo. Las empresas de semiconductores generan miles de millones de dólares en ingresos y crean numerosos empleos en la investigación, desarrollo, fabricación y comercialización. En resumen, estas industrias son esenciales para el progreso tecnológico, el crecimiento económico, la mejora de la calidad de vida y la sostenibilidad global. Su influencia abarca una amplia gama de sectores, haciendo de estas, industrias estratégicas y fundamentales en el mundo moderno. Los avances en la ciencia y la tecnología de semiconductores continúan impulsando la innovación y el desarrollo económico a nivel global.

DESARROLLO

La cadena de valor de la industria electrónica se fundamenta en los materiales semiconductores, quienes a su vez, tienen sus origen en la minería y la metalurgia para la extracción, purificación y procesamiento de los elementos requeridos para la fabricación de los materiales semiconductores, que son utilizados para la construcción de componentes electrónicos, mayormente transistores, diodos, resistencias y capacitores, que

a su vez, son los elementos base para la construcción de los circuitos electrónicos (Wakerly, 2001). Para llegar a esta etapa en la cadena de valor de la industria electrónica, se requiere del trabajo de ingenieros de diversas áreas del conocimiento, programadores, físicos, químicos, matemáticos, entre otras áreas.

En términos generales, la cadena de valor de la industria electrónica es como se muestra en la Figura 1.

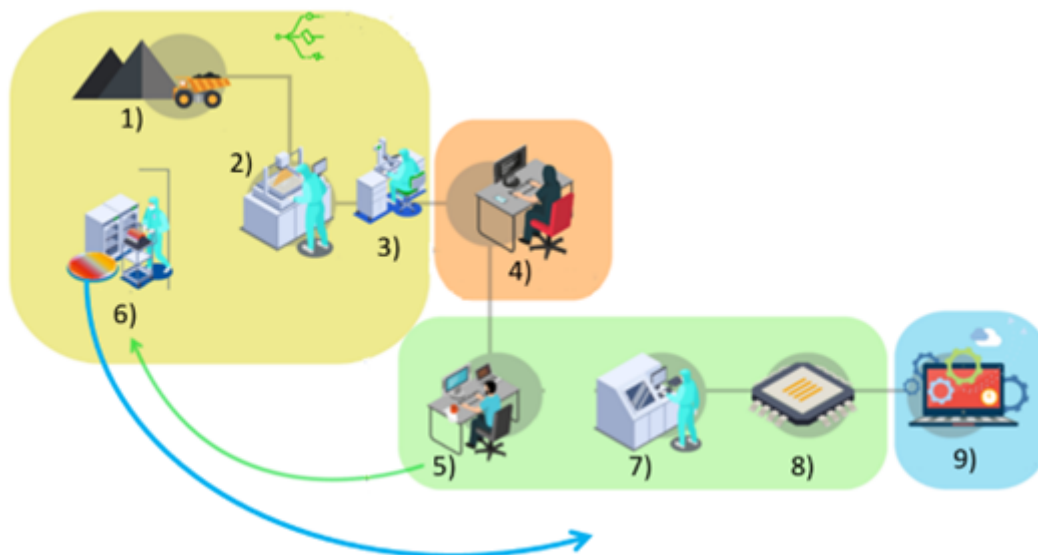


FIGURA 1.

Cadena de valor de la industria electrónica. 1) Minería para la extracción de materiales 2) Diseño y caracterización de materiales semiconductores. 3) Diseño y caracterización de dispositivos electrónicos. 4) Diseño funcional de los circuitos electrónicos discretos e integrados. 5) Diseño físico o layout de los circuitos integrados. 6) Fabricación de circuitos integrados. 7) Verificación de los circuitos. 8) Empaque. 9) Diseño y manufactura de productos electrónicos.

En el contexto económico y social de la industria electrónica, la pandemia de COVID-19 en el año 2020, tuvo efectos profundos y multidimensionales en todo el mundo, provocó una recesión global con una caída significativa del Producto Interno Bruto PIB en muchas economías; sectores como el turismo, la hotelería y la aviación fueron particularmente afectados. Muchas personas perdieron sus empleos debido al cierre de negocios y a la reducción de actividades económicas; la crisis económica resultante aumentó los niveles de pobreza y amplió la brecha de desigualdad en muchas regiones. La pandemia puso a prueba la capacidad de los gobiernos para gestionar crisis sanitarias, económicas y sociales y la eficacia de las respuestas gubernamentales varió ampliamente entre países. Debido a esto, se promovió la colaboración internacional en ciencia y salud, pero también exacerbó tensiones geopolíticas y económicas. Puso de manifiesto la debilidad de las cadenas de suministro globales y la dependencia de occidente de las fábricas asiáticas, principalmente de China. Esta situación crítica afectó significativamente a las áreas de tecnología, principalmente en la industria de los semiconductores, que se ha convertido en una industria de seguridad nacional para algunos países.

Como respuesta a esta crisis mundial, el congreso de los Estados Unidos promulgó la Ley CHIPS y Ciencia de Estados Unidos en agosto de 2022, que tiene como objetivo fortalecer la producción doméstica de semiconductores para fomentar la innovación tecnológica en este sector (Swanson, 2023). La ley asigna más de 52 mil millones de dólares en incentivos para la manufactura de semiconductores, incluyendo créditos fiscales del 25% para inversiones en propiedades relacionadas con la fabricación de estos dispositivos.

La Ley CHIPS establece varios fondos para distintos propósitos, algunos de ellos son:

- CHIPS *for America Fund* para incentivar la producción de semiconductores en EE. UU.
- CHIPS *for America Defense Fund* que apoya a la investigación y el desarrollo en microelectrónica.

- CHIPS *for America International Technology Security and Innovation Fund* que promueve la seguridad y la innovación en la cadena de suministro de semiconductores y tecnologías emergentes.

Además de estos incentivos económicos, la ley también incluye disposiciones para el desarrollo de la fuerza laboral en microelectrónica, la creación de nuevas instalaciones de fabricación, y el fortalecimiento de la colaboración internacional en seguridad tecnológica. La implementación de la Ley CHIPS es vista como una medida crucial para reducir la dependencia de Estados Unidos de los fabricantes extranjeros, especialmente en un contexto de tensiones comerciales con China (Riquelme, 2022). Las empresas que reciben subsidios están sujetas a restricciones, como la prohibición de nuevas inversiones en alta tecnología en China y la obligación de compartir ganancias imprevistas para evitar la exageración de costos.

En este plan de Estados Unidos con la Ley Chips, están incluidos Canadá y México. En este contexto, en enero del 2023 por iniciativa del Gobierno Federal, en el marco del Plan Sonora, se solicita al Tecnológico Nacional de México la formación de recursos humanos altamente calificados en el área de semiconductores, esto marca el inicio del Proyecto Nacional de Semiconductores del Tecnológico Nacional de México.

El primer paso en este Proyecto Nacional fue el lanzamiento de un Diplomado Básico de Semiconductores, con la intención de que la comunidad académica y profesional comprendiera a detalle la cadena de valor de la industria electrónica y dentro de este contexto, la importancia de los materiales semiconductores como base del desarrollo de la industria electrónica y las tecnologías que dependen de ésta, como ya se ha mencionado antes. Este diplomado estuvo dirigido a estudiantes, docentes, egresados y profesionistas, con una modalidad en línea y con una duración de 120 horas divididas en 5 módulos titulados: Materiales Semiconductores, Diseño de Circuitos Digitales con tecnología CMOS, Diseño de Circuitos Analógicos con tecnología CMOS, Layout de Circuitos Integrados y Tecnologías Emergentes, destacando en cada uno las diferentes etapas de la cadena de valor. Este diplomado se implementó en mayo de 2023 y tuvo como objetivo desarrollar una conjunción de saberes para el estudiantado, profesorado y público en general con interés en el área técnico-científica del estudio en semiconductores, que contribuya al desarrollo de perfiles en la realización de actividades específicas e investigación aplicada en la cadena de valor de esta industria estratégica en nuestro país para el desarrollo de la competencia a nivel mundial.

Como segunda etapa del proyecto fue la creación de las especialidades para programas educativos afines a semiconductores, tales como Ingeniería Electrónica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Sistemas Computacionales e Ingeniería Industrial, entre otras y para la recién creada Ingeniería en Semiconductores. Estas especialidades también intentan abarcar diferentes sectores de la industria de los semiconductores, desde los materiales semiconductores, hasta sus aplicaciones en las diferentes áreas de desarrollo tecnológico. Se propusieron cuatro especialidades las cuales se describirán a detalle.

Especialidad 1. Diseño de Materiales Semiconductores para Dispositivos Electrónicos.

Esta especialidad busca aportar al perfil de egreso de los ingenieros, conocimientos relacionados con las técnicas utilizadas para el diseño de materiales semiconductores para dispositivos electrónicos. Se proponen 5 asignaturas. Esta especialidad puede incorporarse a diferentes carreras de ingeniería, como Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Materiales, Ingeniería en Nanotecnología y carreras afines a la electrónica.

El enfoque está en los procesos de diseño de materiales semiconductores para dispositivos electrónicos. Se abordan temas de Física del estado sólido, diseño de experimentos, análisis de propiedades y caracterizaciones de materiales. Las Asignaturas de la especialidad de Diseño de Materiales Semiconductores para dispositivos electrónicos son las siguientes:

- Diseño de Experimentos.
- Principios Físicos para el Diseño de Dispositivos Semiconductores.
- Análisis de propiedades Físico - Químicas de Semiconductores.
- Dispositivos Optoelectrónicos.

- Componentes de Semiconductores de Control.

Especialidad 2. Fabricación de Dispositivos Electrónicos y Circuitos Integrados.

Esta especialidad busca aportar al perfil de egreso de los ingenieros, conocimientos relacionados con la industria de la fabricación de dispositivos electrónicos discretos y circuitos integrados, facilitando la inserción del egresado en la cadena productiva en este sector. Se proponen 6 asignaturas de 5 créditos cada una, para un total de 30. Esta especialidad puede incorporarse a diferentes carreras de ingeniería, como Ingeniería en Semiconductores, Ingeniería en Materiales, Ingeniería Industrial, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Química, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Gestión Empresarial, entre otras.

El enfoque está en los procesos de manufactura de este tipo de productos, la cadena de suministros, los riesgos y la mitigación del impacto ambiental de este tipo de industria, a su vez, conocer a detalle las características de los productos esperados y la normatividad vigente para el aseguramiento de la calidad de productos, aportándole, además, herramientas y habilidades para la toma de decisiones. En la lista siguiente se muestran las asignaturas de la especialidad de Fabricación de Semiconductores y Circuitos Integrados:

- Introducción a los Semiconductores.
- Caracterización de Dispositivos Electrónicos Semiconductores.
- Calidad en los Procesos de Manufactura.
- Sostenibilidad Ambiental.
- Procesos de Fabricación de Semiconductores y Circuitos Integrados.
- Ingeniería de Interfaces de Comunicación.

Especialidad 3. Diseño de Circuitos Integrados.

Esta especialidad busca aportar al perfil de egreso de los ingenieros, conocimientos relacionados con las técnicas utilizadas para el diseño de circuitos electrónicos integrados. Se proponen 6 asignaturas de 5 créditos cada una, para un total de 30. Esta especialidad puede incorporarse a diferentes carreras de ingeniería, como Ingeniería en Semiconductores, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica, Tecnologías de la Información y carreras afines a la electrónica. El enfoque está en los procesos de diseño de circuitos integrados, tanto digitales como analógicos. En el área de diseño digital, se abordan temas de análisis y síntesis de circuitos digitales, desde los más básicos hasta microprocesadores complejos e interfaces de comunicación y *testing*. Por el lado de los circuitos analógicos, se analizan los temas de circuitos analógicos básicos, amplificadores y convertidores analógico digital y digital analógico. Además, se abordan temas relacionados al diseño físico de los circuitos integrados y sus procesos de fabricación. La lista de asignaturas de esta especialidad de Diseño de Circuitos Integrados es:

- Caracterización de Dispositivos Electrónicos Semiconductores.
- Ingeniería de Interfaces de Comunicación.
- Análisis y Síntesis de Circuitos Digitales.
- Arquitectura de Procesamiento de Memorias.
- Análisis de Diseño de Circuitos Integrados Analógicos.

Especialidad 4. Diseño de Sistemas Embebidos.

Esta especialidad busca aportar al perfil de egreso de las y los ingenieros, conocimientos relacionados con las técnicas utilizadas para diseñar y utilizar sistemas embebidos con enfoque a las necesidades de la industria de los Semiconductores y áreas afines. Esta especialidad puede incorporarse a diferentes carreras de ingeniería, como Ingeniería en Semiconductores, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones y carreras afines a la electrónica.

El enfoque está en comprender las capacidades de los sistemas embebidos, así como el poder diseñar e implementar, en estos sistemas, aspectos relacionados a la Inteligencia Artificial y el Internet de las Cosas. En

esta especialidad se estudian dispositivos embebidos reprogramables, como lo son microprocesadores y DSPs; también se capacita sobre el uso de dispositivos embebidos de hardware reconfigurable, como FPGAs.

Además, se describen técnicas de Inteligencia Artificial y conceptos básicos del Internet de las Cosas para ser implementados en los dispositivos embebidos antes mencionados. Todos estos aspectos van soportados por conceptos que promueven el desarrollo de habilidades matemáticas específicas, fundamentales para diferentes disciplinas de diseño, simulación e implementación de soluciones para Ingeniería Electrónica o áreas afines. Para esta especialidad se proponen cinco asignaturas que se muestran a continuación:

- Matemáticas Avanzadas para la Ingeniería.
- Inteligencia Artificial.
- Internet de las Cosas.
- Sistemas Embebidos Basados en Procesamiento Digital de Señales.
- Sistemas Embebidos Basados en FPGAs.

Paralelamente al diseño de las especialidades se trabajó en el programa educativo de Ingeniería en Semiconductores, cuyo objetivo es **“Formar ingenieros competentes en el diseño y síntesis de materiales semiconductores, componentes electrónicos y circuitos integrados a través de la investigación y desarrollo tecnológico, que coadyuven al fortalecimiento de la industria estratégica de los semiconductores de nuestra nación, propiciando el crecimiento de la cadena de valor, dentro de un marco legal y sostenible con un sentido social, ético y humanista”**. Este programa educativo consta de 260 créditos (4860 horas), que corresponden a los requisitos académicos establecidos en las asignaturas y actividades académicas del plan de estudios. En el año 2023, como era la meta, diecisiete institutos tecnológicos aperturaron la carrera de Ingeniería en Semiconductores.

Durante el proceso de diseño de los planes de estudio, tanto del diplomado, las especialidades como los programas educativos de licenciatura y posgrados, se tuvieron reuniones de trabajo del equipo de académicos del TecNM con centros de investigación como INAOE y CINVESTAV, referentes nacionales en temas de semiconductores, así como con empresas líderes en este sector. Se participó en la Conferencia de Semiconductores de la Asociación de Industrias de Semiconductores SIA de los Estados Unidos, con la participación de los gobiernos, industria y academia de Estados Unidos, Canadá y México en Washington DC en mayo del 2023.

CONCLUSIONES

Los proyectos estratégicos que ha implementado el Tecnológico Nacional México en el área de Semiconductores han sido el diseño y la creación de programas educativos basados en el análisis de la cadena de valor de la industria electrónica partiendo de los materiales semiconductores y caracterización de dispositivos, hasta el diseño y manufactura de los sistemas embebidos o productos electrónicos de consumo, pasando por las etapas del estudio, análisis y caracterización de materiales y dispositivos electrónicos, diseño de circuitos integrados, layout o diseño físico, verificación y empaque de circuitos integrados. Además, se tomaron en cuenta los requerimientos de los principales actores de la industria, como lo son los centros de investigación y las grandes empresas tecnológicas. Se han considerado de manera significativa no solo las áreas de desarrollo, sino esquemas de capacitación para los profesores de dichos programas educativos. Esto le da gran fortaleza y muy altas posibilidades de éxito a estos nuevos programas educativos.

La industria de semiconductores no solo es vital para la economía global y la innovación tecnológica, sino que también está implícita en casi todos los aspectos de nuestra vida cotidiana. Esta industria continuará desempeñando un papel central en el desarrollo de nuevas tecnologías que transformarán la sociedad y mejorarán la calidad de vida en todo el mundo. De aquí, la enorme importancia de las acciones del Tecnológico

Nacional de México en el proyecto de Semiconductores, con el desarrollo de nuevos programas educativos actualizados, con métodos de trabajo ágiles que permitan, no sólo reaccionar a las exigencias de la industria de manera inmediata, sino que permitan, a mediano y largo plazo, planificar acciones que coadyuven al desarrollo de tecnologías propias.

REFERENCIAS

- Kaeslin, H. (2008). *Digital Integrated Circuit Design: From VLSI Architectures to CMOS Fabrication*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Riquelme, R. (2022, agosto 31). Ley de Chips de Estados Unidos puede generar inversiones colaterales en México: Intel. *El Economista*.
- Swanson, A. (2023, marzo 31). Cinco claves de la Ley de Chips de EE. UU. *The New York Times*.
- Wakerly, J. (2001). *Diseño digital, principios y prácticas*. México: Prentice Hall.



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94480005006>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Iraam Antonio López Salas, Luis Alberto Escalera Velasco

**Semiconductores como Proyecto Nacional del
Tecnológico Nacional de México**

**Semiconductors as a National Project of the Tecnológico
Nacional de México**

Conciencia Tecnológica

núm. 67, p. 33 - 39, 2024

Instituto Tecnológico de Aguascalientes,

ISSN: 1405-5597