



Georgia Tech Panama
Logistics Innovation & Research Center

AI
ARTIFICIAL
INTELLIGENCE

Introducción a las Tecnologías Críticas y Emergentes

Preparado por: Bidkar Garay, William Vong, Juan Chavarría y Ezequiel Aguilar

Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá

Julio, 2026

www.gatech.pa | logistics.gatech.pa

© Georgia Tech Panamá Foundation, 2026
Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá, Calle
Marbella Office Plaza, Oficina 5B, Avenida Aquilino de la Guardia, Bella Vista,
Ciudad de Panamá. 2026

Primera edición digital: julio 2026

ISBN: Pendiente

Preparado por: Bidkar Garay, William Vong, Juan Chavarría y Ezequiel Aguilar

Editado por: Jorge Barnett

Diseño gráfico: Carlos Santos

Todos los derechos reservados. Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento, su recopilación en un sistema informático, su transmisión en cualquier forma o medida, ya sea electrónica, mecánica, por fotocopia, registro o bien por otros medios, sin el previo permiso por escrito de la editorial.



Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0 de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visita:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Recomendación para citación de este documento:

Garay, B., Vong, W., Chavarría, J., Aguilar, E. (2026). *Introducción a las Tecnologías Críticas y Emergentes*. Centro de Innovación e Investigaciones Logísticas Georgia Tech Panamá. Julio 2026.

Descargo de responsabilidad:

Este documento es producto de investigación profesional sobre una temática en constante evolución. Las opiniones expresadas son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de Georgia Tech Panama Foundation ni de Georgia Institute of Technology. Aunque se ha procurado la exactitud del contenido al momento de su publicación, no se garantiza ni se asume responsabilidad por cambios posteriores, errores u omisiones, ni por daños derivados del uso de esta información.

Cualquier marca, empresa o producto mencionado se incluye con fines ilustrativos y analíticos; su mención no implica aval, patrocinio ni aprobación (explícita o implícita), y su omisión no implica juicio de valor alguno.

Aplican términos adicionales. Para más información visite logistics.gatech.pa/aviso-legal/

Introducción

Una **Tecnología Crítica y Emergente** (CET, por sus siglas en inglés de Critical and Emerging Technology) se define, en términos generales, como una tecnología avanzada con potencial de influir de forma significativa en la seguridad, la competitividad económica y el desarrollo de un país o región.^[1]

Su relevancia no se basa solo en su novedad, sino en su capacidad de transformar sectores enteros y generar ventajas estratégicas para los países y las organizaciones que logran desarrollarlas, adoptarlas y gobernarlas de manera efectiva.

El término combina dos dimensiones. Por un lado, lo “**crítico**” se refiere a su importancia estratégica: son tecnologías habilitadoras de capacidades clave en torno a la seguridad nacional y la prosperidad económica.^[2] Por otro lado, lo “**emergente**” hace referencia a tecnologías que se encuentran en una fase de innovación acelerada y evolución constante, con un alto potencial de generar impactos significativos en diversos ámbitos socioeconómicos.^[3]

Esta combinación explica por qué las CET ocupan hoy un lugar prioritario en las agendas políticas y económicas de múltiples países. No se trata necesariamente de invenciones nuevas, sino de campos en los que el ritmo de avance las vuelve determinantes para el futuro cercano.

Existen diversas listas de tecnologías clave, definidas según distintos enfoques y objetivos.^[4] Sin embargo, como punto de partida, este documento se apoya en la “*Critical and Emerging Technologies List: 2024 Update*”, publicada por la Office of Science and Technology Policy (OSTP) de Estados Unidos.



Aunque esta lista fue elaborada desde una perspectiva de seguridad nacional, sus 18 categorías ofrecen una clasificación útil para identificar las tecnologías que están redefiniendo la economía global.^[1] Esto la convierte en un marco útil para preguntarse cuáles de ellas tienen **mayor potencial de aplicabilidad** en el **sector logístico panameño**.

El objetivo de este documento es explicar **qué es cada tecnología y cómo funciona**. Para ello, se ha priorizado un subconjunto de siete categorías de la lista CET que presentan mayor potencial de aplicabilidad en el contexto nacional, considerando su relevancia para el ámbito logístico de Panamá.

Más que ofrecer un inventario exhaustivo, el propósito es construir una base conceptual que permita entender cuáles son las capacidades tecnológicas que deberá desarrollar, adoptar o articular el país para sostener y fortalecer su competitividad logística en los próximos años.

Tecnologías Críticas y Emergentes **Prioritarias para el Sector Logístico** **Panameño**

1. Tecnologías integradas de comunicación y redes

Las tecnologías integradas de comunicación y redes constituyen la base conectiva sobre la que opera la mayor parte de las demás tecnologías CET. Su función es permitir que los dispositivos capturen datos, los transmitan y los procesen dentro de una arquitectura común. Sin esta capa, los sensores no envían información, la inteligencia artificial no recibe datos y los sistemas autónomos no pueden coordinarse. En términos generales, esta categoría integra tecnologías como redes 5G y 6G, redes definidas por software, fibra óptica, redes en malla y redes tolerantes a la demora, todas ellas complementarias dentro de un ecosistema de conectividad inteligente.

Redes Inalámbricas 5G y 6G

Las redes inalámbricas de quinta generación (5G) y sexta generación (6G) amplían la capacidad de conectividad al ofrecer baja latencia, alto ancho de banda y conexión masiva de dispositivos. Estas características permiten que las aplicaciones de red funcionen con mayor estabilidad en escenarios donde se requiere una respuesta rápida y una alta densidad de conexiones. Las redes 5G y 6G no solo mejoran la velocidad de transferencia de datos, sino que también permiten la comunicación máquina a máquina (M2M) con latencias inferiores a 1 milisegundo, lo que es crítico para aplicaciones como vehículos autónomos, robótica industrial y control de procesos en tiempo real.

Asociado a las redes inalámbricas aparece el concepto de *network slicing*, que permite dividir una misma infraestructura física en redes virtuales independientes, cada una optimizada para un servicio concreto.

Esto es importante porque no todo el tráfico requiere el mismo nivel de prioridad: algunas comunicaciones necesitan máxima confiabilidad (como en emergencias médicas), otras mayor capacidad (como en streaming de video) y otras únicamente una transmisión eficiente.^[5]

Fibra Óptica

A nivel de infraestructura, la fibra óptica sigue siendo uno de los medios más importantes para **transportar grandes volúmenes de datos** con alta velocidad y baja pérdida de señal. Su funcionamiento se basa en pulsos de luz que viajan por un núcleo interno, mientras que la capa externa mantiene la señal confinada por reflexión interna total. Gracias a ello, la fibra sirve como columna vertebral de internet, centros de datos, redes empresariales y sistemas de alta demanda.^[6]

RFID y EPC

La Identificación por Radiofrecuencia (RFID) y el Código Electrónico de Producto (EPC) son fundamentales porque permiten identificar y rastrear objetos sin necesidad de contacto directo. RFID funciona mediante etiquetas, lectores y antenas que intercambian información por radiofrecuencia; cuando la etiqueta recibe la energía del lector, responde con su identificador y permite reconocer rápidamente el objeto asociado. Las etiquetas RFID pueden ser activas (con batería propia) o pasivas (sin batería, alimentadas por la señal del lector), lo que determina su alcance y vida útil. EPC complementa ese proceso al asignar un código único a cada artículo, lo que facilita la trazabilidad. En la práctica, RFID y EPC convierten la identificación manual en un proceso automatizado, más rápido y con menor margen de error.^[7]

Redes Definidas por Software

La gestión de red también es un concepto central dentro de esta categoría, y allí entran en juego las redes definidas por software (SDN). Estas separan el **plano de control** del **plano de datos**, permitiendo

administrar la red desde software de manera centralizada. En lugar de configurar cada equipo manualmente, el operador define políticas desde un controlador y la red ejecuta esas instrucciones de forma automática. Este modelo aporta flexibilidad, porque facilita ajustar rutas, priorizar tráfico y responder a cambios operativos con mayor rapidez. En ambientes de conectividad crítica, esa capacidad de reconfiguración resulta esencial para mantener continuidad y eficiencia.^[8]

Redes en Malla y Redes Tolerantes a la Demora

Las redes en malla y las redes tolerantes a la demora (DTN) aportan **resiliencia** al ecosistema de comunicación. Las redes en malla **conectan varios nodos** entre sí para que la información pueda tomar rutas alternativas si una falla. Esto **reduce la dependencia** de un único punto de acceso y mejora la disponibilidad del sistema. Las DTN, por su parte, están diseñadas para operar incluso cuando la conectividad es intermitente o temporalmente inexistente, almacenando y reenviando datos cuando aparece una ruta disponible. Ambas soluciones son valiosas en contextos de movilidad, zonas remotas o escenarios de contingencia, porque permiten que la comunicación continúe aun cuando las condiciones de la red no sean ideales.^[9]

2. Detección avanzada en red y gestión de firmas

La logística global ha evolucionado hacia un ecosistema interconectado y dinámico donde la **Detección Avanzada en Red y Gestión de Firmas**^[1] opera como el sistema nervioso central de las cadenas de suministro.^[10] La visibilidad estratégica comienza con el **monitoreo satelital**, integrando Teledetección de la Tierra y Radars de Apertura Sintética (SAR). Estas tecnologías proporcionan una cobertura ininterrumpida que evalúa la resiliencia marítima, monitorea la congestión en hubs globales e identifica flotas oscuras que evaden marcos regulatorios.

A nivel de superficie, esta macrovisión se complementa con la **telemetría cinemática** y los datos del Sistema de Identificación Automática (AIS), permitiendo modelar el comportamiento de la red de buques y optimizar la navegación antes de la interacción física con los puertos.

Para transformar la masiva recolección de información heterogénea en inteligencia operativa, es imperativo el **Procesamiento de Sensores y Fusión de Datos**. Al integrar telemetría en tiempo real con bases de datos meteorológicas y transaccionales, los modelos predictivos optimizan drásticamente la sincronización logística, como la estimación de los tiempos de permanencia en muelle. Paralelamente, la capacidad analítica desciende al borde físico mediante **Cargas Útiles y Sensores IoT^[11]** integrados en la carga. En sectores críticos como las cadenas de frío, estas matrices auditan de forma autónoma fluctuaciones térmicas, ambientales y cinemáticas, garantizando la inalterabilidad de los bienes de alto valor a través de redes intermodales.

La infraestructura moderna exige un blindaje riguroso en múltiples frentes. En materia aduanera, la **Inspección No Intrusiva automatizada** emplea tomografía computarizada y visión por computadora para neutralizar vectores de contrabando sin inducir latencia en los flujos comerciales.

En el ámbito de la sostenibilidad, la **telemetría de emisiones ambientales** utiliza redes terrestres y drones espectrométricos para auditar empíricamente los gases contaminantes de los buques, certificando el cumplimiento normativo y habilitando la descarbonización.^[12] Finalmente, la **biovigilancia inteligente** (CBRN) sella la bioseguridad mediante el muestreo ininterrumpido del aire en bodegas, logrando la identificación espectral temprana de patógenos y vectores invasivos antes de autorizar el desembarque.

Teniendo esto en cuenta, la integración superpuesta de estas capas de instrumentación dota a las operaciones contemporáneas de una trazabilidad absoluta. Al procesar variables físicas y ambientales en tiempo real, la arquitectura logística moderna trasciende el transporte pasivo para identificar anomalías y mitigar riesgos directamente en la periferia de la red, garantizando un flujo comercial continuo y una alta resiliencia operativa frente a la volatilidad del mercado global.

3. Computación avanzada

Las tecnologías de computación avanzada proporcionan la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos, ejecutar modelos complejos y apoyar la toma de decisiones en tiempo real. Su función es transformar la información generada por sensores, sistemas de información y redes de comunicación en conocimiento útil para optimizar procesos.

Modelado y Simulación Avanzada

La simulación operativa requiere rigor metodológico. Los **gemelos digitales** actúan como motores dinámicos de decisión al combinar la simulación de eventos discretos (DES) con inteligencia artificial. Al integrar datos heterogéneos (modelos BIM, telemetría AIS y variables meteorológicas), se crean entornos de prueba seguros para entrenar agentes de aprendizaje por refuerzo en tareas de optimización, como la asignación de grúas portuarias.^[13] Para evaluar la resiliencia ante interrupciones, se aplican técnicas de simulación-optimización y modelos predictivos como XGBoost^[14] para anticipar fallas a nivel de componentes.

Procesamiento y Análisis de Datos

El análisis empírico de flujos geoespaciales masivos exige técnicas avanzadas de filtrado y fusión algorítmica. En espacios marítimos de alta

densidad, donde se procesan millones de mensajes AIS diarios, las arquitecturas de aprendizaje profundo son esenciales.^[15] Los Autoencoders comprimen datos cinemáticos para detectar comportamientos anómalos o contrabando que evaden las heurísticas tradicionales. Simultáneamente, redes recurrentes (como MConLSTM) modelan dependencias temporales para proyectar tiempos de permanencia portuaria, mientras que sistemas semi-supervisados (Fuzzy ARTMAP) y Procesos Gaussianos identifican anomalías en tiempo real, integrando el histórico de datos con el criterio táctico.

Supercomputación y Aplicaciones de IA

El volumen de variables espaciotemporales hace imperativa la supercomputación para resolver algoritmos de enrutamiento global.^[16] Las Redes Neuronales de Grafos (GNN) estructuran los flujos comerciales interconectados, prediciendo vulnerabilidades y quiebres de inventario. Para mitigar la latencia, marcos distribuidos (HSTE-GNN) particionan y procesan estos inmensos grafos en paralelo. Asimismo, la convergencia de las GNN con Grandes Modelos de Lenguaje (LLMs) permite traducir inferencias algorítmicas complejas a lenguaje natural, facilitando la toma de decisiones gerenciales frente a interrupciones logísticas.

Edge Computing e AIoT

En entornos logísticos marítimos, portuarios y multimodales, donde la conectividad puede ser limitada, costosa o intermitente, el **procesamiento perimetral** (Edge Computing) se ha convertido en un componente fundamental para garantizar la continuidad operativa y la toma de decisiones en tiempo real. A diferencia de los modelos tradicionales basados exclusivamente en la nube, el Edge Computing traslada parte de la capacidad de procesamiento y análisis hacia dispositivos cercanos a la fuente de generación de datos, reduciendo significativamente la latencia, el consumo de ancho de banda y la dependencia de las redes de comunicación.^[17]

La integración entre el **Edge Computing** y la **Inteligencia Artificial de las Cosas (AIoT)** permite que sensores, actuadores y dispositivos inteligentes integrados en buques, puertos, contenedores, vehículos de transporte y almacenes ejecuten algoritmos de análisis directamente sobre el terreno. De esta forma, los datos pueden ser filtrados, procesados e interpretados localmente antes de ser enviados a plataformas centrales, transmitiendo únicamente eventos relevantes o indicadores críticos. Este enfoque optimiza el uso de los recursos de comunicación y facilita la supervisión continua de activos distribuidos geográficamente.^[18]

En la logística de cadena de frío, por ejemplo, sensores equipados con capacidades de IA pueden monitorear variables como temperatura, humedad y vibración dentro de contenedores refrigerados. Mediante modelos ligeros de aprendizaje automático implementados en microcontroladores o dispositivos embebidos, es posible detectar tempranamente patrones anómalos asociados a fallas en los sistemas de refrigeración, aperturas no autorizadas o deterioro de la mercancía.

4. Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es un subcampo de las ciencias computacionales que converge con disciplinas como la **lingüística**, la **neurociencia** y la **biología**. Según su definición normalizada, es un sistema que genera contenido, pronósticos, recomendaciones o decisiones para un conjunto de objetivos definidos por el humano.^[19] En la práctica, el término converge en la capacidad de los sistemas computacionales de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el razonamiento, la resolución de problemas y la toma de decisiones.

La pregunta fundacional, vigente desde 1950, es si las máquinas pueden pensar. **Alan Turing** la replanteó en términos operativos: si una máquina puede sostener de forma convincente una conversación humana, su inteligencia debe tomarse en serio.^[20]

Las décadas siguientes intentaron responder por la vía del razonamiento simbólico, representado mediante lógica, reglas y conocimiento estructurado, bajo la premisa de que codificar suficientes reglas y hechos bastaría para razonar. Este enfoque culminó en los años 80 con los **sistemas expertos**, programas basados en conocimiento para resolver problemas que requieren maestría humana^[21], fque resultaron superficiales a la complejidad real. La inversión cayó al no materializarse el valor esperado, a esto se le conoce como el **invierno de la IA** y la lección clave fue que no faltaba inteligencia, sino datos y capacidad computacional, una dependencia que la IA conserva hasta hoy.

Paradigmas y Componentes de Aprendizaje

En paralelo, se desarrollaba el **aprendizaje automático o estadístico**, donde el sistema ajusta una función de estimación a partir de un conjunto finito de datos, en lugar de reglas escritas manualmente; esta es la médula de los sistemas actuales. Su progreso entre 2000 y 2010 se aceleró por el aumento simultáneo de datos disponibles, capacidad de cómputo y eficacia algorítmica, en particular el entrenamiento de redes neuronales profundas sobre procesadores gráficos (GPU)^[22]. Estos factores habilitaron modelos cada vez más grandes y aplicaciones en campos como la logística, la agricultura y las finanzas.

El campo se organiza en cuatro grandes paradigmas según la señal de aprendizaje: **supervisado** (datos etiquetados), **no supervisado** (de datos no etiquetados), **semi-supervisado** (combinación de ambos) y **por refuerzo** (recompensas y penalizaciones).

El **paradigma dominante** es el **supervisado**, el modelo entrenado sobre el conjunto de datos emite predicciones, una función de pérdida calcula el error frente a la etiqueta real, y el algoritmo de retropropagación ajusta los pesos de forma iterativa hasta generalizar a nuevos ejemplos.

La arquitectura predominante en la última década es el **Transformer**, cuyo mecanismo central de atención (self-attention) pondera la relación de cada token con todos los demás, capturando dependencias a larga distancia de forma paralela y eficiente.^[23]

Los datos, ejemplos descritos por características (features), cuya calidad acotan el desempeño alcanzable. El modelo, una función parametrizada que mapea entradas a salidas mediante pesos ajustables. La función de pérdida (loss), que cuantifica el error entre predicción y valor esperado. Y el algoritmo de optimización, típicamente descenso de gradiente estocástico, que ajusta los pesos mediante retropropagación.

Ciclo de Vida y Generalización

El concepto clave es la **generalización**: el desempeño sobre datos no vistos, frente al sobreajuste (overfitting), donde el modelo memoriza el conjunto de entrenamiento sin capturar patrones transferibles. Se controla mediante regularización y partición de los datos en entrenamiento, validación y prueba. Los hiper parámetros (tasa de aprendizaje, profundidad de la red) configuran este proceso sin aprenderse los datos.

Operativamente, el ciclo de vida distingue dos fases: en el entrenamiento, el modelo ajusta sus pesos mediante optimización, en un proceso intensivo en cómputo que se ejecuta de forma puntual o periódica; en la **inferencia**, el modelo ya entrenado procesa entradas nuevas sin modificar sus pesos, en la fase expuesta al usuario final.^[24]

Estado Actual y Desafíos

La IA es hoy una tecnología de propósito general, que habilita capacidades transversales a múltiples sectores. Su madurez es heterogénea: el aprendizaje supervisado y el reconocimiento de patrones en visión y voz son tecnología consolidada, mientras que los modelos generativos de lenguaje e imagen, en despliegue masivo desde 2022, constituyen el frente más dinámico, con limitaciones documentadas en

confiabilidad y trazabilidad del razonamiento. Esta transición se acompaña de un esfuerzo de normalización, reflejado en la estandarización de terminología mediante ISO/IEC 22989 y en marcos de gestión de riesgo como el NIST AI RMF^[25] e ISO/IEC 42001^[26].

5. Sistemas autónomos

Los sistemas autónomos se clasifican según dos ejes ortogonales: el **grado de automatización** (SAE J3016^[27]: seis niveles, de 0 a 5; equivalente a ISO/PAS 22736^[28]; los niveles 0 a 2 son asistencia al conductor, desde el nivel 3 el ADS asume la conducción dinámica) y el **dominio de operación** (terrestre, aéreo/UAS, marítimo/MAS, espacial).

Evolución y linaje tecnológico

La autonomía hereda dos linajes: la robótica y el control, que desde mediados del siglo XX formalizaron la realimentación sensor-actuador y la planificación; y los desafíos DARPA Grand Challenge (2004-2005) y Urban Challenge (2007)^[29], que demostraron navegación autónoma urbana y consolidaron la arquitectura percepción-planificación-control. El aprendizaje profundo transformó la percepción después, sustituyendo características manuales por modelos entrenados sobre datos sensoriales.^[30]

Arquitectura y componentes transversales

La arquitectura encadena tres etapas: **percepción**, que integra sensores (cámaras, radar, LiDAR, inerciales, GNSS) mediante fusión de datos en un modelo del entorno; **planificación**, que determina trayectoria y maniobras según mapas de alta definición (HD) y localización; y **control**, que traduce la trayectoria en comandos a los actuadores.

Dos conceptos transversales destacan: el **dominio de diseño operacional** (ODD), que delimita la validez del sistema: estricto en nivel 4, nulo en nivel 5; y el **mando y control autónomo**, que gobierna flotas y la mitigación de fallas fuera del ODD.

Madurez, retos y perspectivas actuales

La madurez es desigual entre dominios y niveles. Los niveles 1 y 2 son tecnología de producción comercial; los niveles 3 y 4 están en despliegue acotado, como frente de validación. El nivel 5 sigue como objetivo de investigación, sin realización comercial. En los dominios aéreo y marítimo la operación no tripulada está consolidada, aunque la autonomía decisional depende de marcos regulatorios en desarrollo. El cuello de botella ya no es la percepción, sino la garantía de comportamiento seguro y verificable ante situaciones infrecuentes, lo que conecta esta área con la IA y la ciberseguridad.^[31]

6. Ciberseguridad y privacidad de datos

El concepto de ciberseguridad se refiere al **conjunto de prácticas, metodologías y tecnologías** que buscan proteger sistemas informáticos. Debido a que los sistemas informáticos se encuentran presentes de manera horizontal y vertical en todos los ámbitos del mundo moderno, la **ciberseguridad** se convierte en un **elemento no negociable**.

Un **sistema informático** puede definirse como un conjunto de componentes tecnológicos que interactúan entre sí para recibir, almacenar, procesar, generar y transmitir datos e información. En este contexto, **los datos** constituyen el activo más valioso, ya que representan el insumo fundamental sobre el cual operan los sistemas y el elemento que genera valor, tanto tangible como intangible, en la economía actual.

En el ámbito logístico, la **ciberseguridad** adquiere una relevancia particular debido a la sensibilidad de los datos y a lo crítico de los sistemas que soportan las operaciones, como plataformas de gestión de inventarios, trazabilidad, transporte y comercio internacional.

Uno de los marcos de referencia más reconocidos es la norma ISO 27001, que establece que la gestión de la seguridad de la información se basa en tres pilares fundamentales, conocidos como la tríada CIA, cuyas siglas en inglés se refieren a confidencialidad, integridad y disponibilidad:

- **Confidencialidad:** garantiza que los datos e información solo sean accesibles para usuarios autorizados.
- **Integridad:** asegura que los datos no hayan sido alterados o manipulados de forma indebida, manteniendo su exactitud y confiabilidad.
- **Disponibilidad:** garantiza que los sistemas y la información estén accesibles y operativos cuando sean requeridos por los usuarios autorizados.^[32]

Aunque estos pilares han sido estudiados y referenciados como base, hay autores y entidades internacionales que incluyen otros pilares que robustecen el concepto de la ciberseguridad. Entre los conceptos y metodologías más relevantes destacan:

Zero Trust: este modelo de gestión de la ciberseguridad fue acuñado por el analista John Kindervag de la firma Forrester Research en el 2010 y consiste en no confiar o dar por garantizada la seguridad y busca siempre verificar la misma. Por ello, Zero Trust integra otros conceptos claves como la seguridad en la cadena de suministros de componentes controles de autenticación robustas, entre otros, con el fin de lograr una reducción sustancial de la superficie de ataque y una gestión más granular de los sistemas informáticos.^[33]

Blockchain and Distributed Technologies: el concepto de tecnologías distribuidas consiste en la creación, gestión y coordinación de nodos de manera segura garantizando la resiliencia de un sistema informático. Un ejemplo de esto son las blockchains, que consisten en un conjunto de nodos que comparte un libro mayor de transacciones (Ledger) y que añaden un nuevo eslabón a la cadena mediante un sistema de consenso y criptografía.

Communications and Network Security: Communications and Network Security: en el mundo moderno, no existen sistemas informáticos con impacto real que puedan alcanzar su máximo potencial si no permiten la interconexión entre sus componentes y los usuarios que se benefician de ellos. Por ello, se presta especial atención a blindar y asegurar de manera fiable las comunicaciones abiertas (broadcast) como las cerradas como en redes. Entre los mecanismos y tecnologías que más se destacan están los protocolos seguros de comunicación como **SFTP** (Secure File Transfer Protocol) o **HTTPS** (Hypertext Transfer Protocol Secure) implementaciones para asegurar comunicaciones punto a punto como las **VPN** (Virtual Private Network) o el uso de sistemas **IDS** (Intrusion Detection System) en redes.^[1]

La ciberseguridad es un proceso continuo y evolutivo, emergen constantemente nuevas tecnologías, arquitecturas y formas de trabajo, que amplían las posibilidades de innovación, pero también abren nuevas ventanas de exposición a riesgos. Al mismo tiempo, gran parte de las organizaciones siguen operando con sistemas legacy que, aunque han demostrado su valor y estabilidad, heredan ventajas y vulnerabilidades de su época de diseño, lo que implica mantener mecanismos de protección adaptativos que cubran tanto entornos modernos como tradicionales. Por ello, la ciberseguridad es una disciplina en permanente movimiento en la que se desarrollan y actualizan continuamente medidas, controles y estrategias para combatir las vulnerabilidades de los sistemas informáticos.

7. Generación y almacenaje de energías limpias

Toda actividad humana requiere energía para su funcionamiento y, al mismo tiempo, genera un impacto sobre el entorno. Sin embargo, no todas las formas de producir energía tienen el mismo nivel de impacto ambiental. En este contexto, la generación y el almacenamiento de energía mediante fuentes limpias y sostenibles se han convertido en un tema de relevancia global.

En el ámbito de la generación energética, las principales fuentes incluyen:

- **Generación solar:** producción de energía eléctrica mediante la captación de la luz solar mediante paneles hechos de materiales fotoeléctricos.
- **Generación eólica:** obtención de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la fuerza del viento por medio de aspas geométricamente optimizadas y conectadas a un generador eléctrico que transforma el movimiento en electricidad.
- **Generación hidroeléctrica:** producción de electricidad mediante el aprovechamiento de la energía cinética de masas de agua que son recogidas por generadores eléctricos.
- **Generación nuclear:** consiste en el aprovechamiento controlado del calor generado por material nuclear para calentar agua y aprovechando el mismo para mover generadores eléctricos.
- **Generación por combustibles fósiles y biomasa:** obtención de energía a partir de la combustión de materiales como derivados del petróleo o materia orgánica, transformando la energía térmica en energía mecánica o eléctrica.^[34]

Como se puede intuir, la mayoría de los métodos de generación de energía terminan aprovechándose en forma de electricidad, por lo que es importante considerar también los métodos de almacenamiento energético. Entre las principales tecnologías de almacenamiento eléctrico se encuentran:

- **Electroquímicos o baterías:** Es el método más extendido, basado en reacciones químicas reversibles que permiten almacenar y liberar energía eléctrica.
- **Supercapacitores:** Son dispositivos que almacenan energía aprovechando el principio de capacitancia que se presenta entre dos electrodos separados por un material dieléctrico.
- **Almacenamiento de energía por magnetismo de superconductividad:** Utiliza campos magnéticos generados en materiales superconductores para almacenar energía.^[35]

Glosario de términos

5G / 6G: Redes inalámbricas de quinta y sexta generación que ofrecen baja latencia, alto ancho de banda y conexión masiva de dispositivos. Permiten la comunicación máquina a máquina (M2M) y son adecuadas para aplicaciones como vehículos autónomos, robótica industrial y control de procesos en tiempo real.

ADS (Automated Driving System): Sistema de conducción automatizada que asume la conducción dinámica del vehículo a partir del nivel 3 de automatización, de acuerdo con la clasificación SAE J3016.

Aprendizaje automático (Machine Learning): Subcampo de la IA en el que los sistemas ajustan funciones de estimación a partir de un conjunto finito de datos, en lugar de seguir reglas escritas manualmente.

CBRN (Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear): Sigla utilizada para referirse a amenazas, materiales o incidentes de naturaleza química, biológica, radiológica o nuclear, así como a las tecnologías empleadas para su detección y monitoreo.

DTN (Delay Tolerant Networking): Redes diseñadas para operar con conectividad intermitente o inexistente, almacenando y reenviando datos cuando aparece una ruta disponible.

EPC (Electronic Product Code): Código único asignado a cada artículo que complementa al RFID, facilitando la trazabilidad y automatizando la identificación de productos.

Fibra óptica: Medio de transmisión que transporta grandes volúmenes de datos mediante pulsos de luz confinados por reflexión interna total en un núcleo.

HTTPS (Hypertext transfer protocol Secure): Protocolo de comunicación segura que cifra el intercambio de información entre un navegador web y un servidor, garantizando la confidencialidad e integridad de los datos transmitidos.

IDS (Intrusion Detection System): Sistema de detección de intrusiones que monitorea redes o equipos informáticos para identificar actividades sospechosas, accesos no autorizados o posibles ataques de ciberseguridad.

LiDAR (Light Detection and Ranging): Tecnología de detección remota que utiliza pulsos láser para medir distancias y generar modelos tridimensionales del entorno con alta precisión, siendo fundamental para la percepción de vehículos y sistemas autónomos.

Network slicing: Técnica asociada a 5G/6G que divide una misma infraestructura física en redes virtuales independientes, cada una optimizada para un servicio específico.

ODD (Dominio de diseño operacional): Conjunto de condiciones operativas, ambientales y de infraestructura dentro de las cuales un sistema de conducción automatizada ha sido diseñado para funcionar de manera segura.

Redes en malla (mesh networks): Topología en la que varios nodos se conectan entre sí, permitiendo rutas alternativas si una falla, reduciendo la dependencia de un único punto de acceso.

Retropropagación: Algoritmo utilizado durante el entrenamiento para ajustar iterativamente los pesos del modelo, reduciendo el error entre la predicción y el valor esperado.

RFID (Identificación por Radiofrecuencia): Tecnología que identifica y rastrea objetos sin contacto directo mediante etiquetas, lectores y antenas que intercambian información por radiofrecuencia. Las etiquetas pueden ser activas (con batería) o pasivas (alimentadas por la señal del lector).

SAE J3016 (Society of Automotive Engineers): Estándar internacional que clasifica la conducción autónoma en seis niveles (del 0 al 5), donde los niveles 0-2 son de asistencia al conductor y del 3 en adelante el sistema asume la conducción dinámica.

SAR (Synthetic Aperture Radar): Sistema de radar activo que produce imágenes bidimensionales o reconstrucciones tridimensionales de alta resolución de la superficie terrestre, infraestructuras u objetos. Los datos masivos generados por múltiples radares SAR se fusionan en tiempo real para crear una conciencia situacional del entorno.

SDN (Software-Defined Networking): Arquitectura de red que separa el plano de control del plano de datos, permitiendo administrar la red de forma centralizada desde un controlador de software, en lugar de configurar cada equipo manualmente.

Self-attention (Autoatención): Mecanismo central en la arquitectura Transformer que pondera la relación de cada token con todos los demás, permitiendo capturar dependencias a larga distancia de forma eficiente.

SFTP (Secure File Transfer Protocol): Protocolo seguro para la transferencia de archivos que utiliza un canal cifrado para proteger la información durante su transmisión entre sistemas.

Transformer: Arquitectura de red neuronal predominante en la última década, capaz de procesar secuencias de datos de manera paralela gracias a su mecanismo de atención.

VPN (Virtual Private Network): Red privada virtual que establece un túnel cifrado entre dispositivos para proteger la confidencialidad e integridad de la información transmitida a través de redes públicas.

XGBoost (Extreme Gradient Boosting): Algoritmo de aprendizaje automático basado en árboles de decisión y técnicas de gradient boosting, ampliamente utilizado para tareas de clasificación, regresión y predicción debido a su alta precisión y eficiencia.

Referencias

- [1] National Science and Technology Council (NSTC). (2024). Critical and Emerging Technologies List Update. Executive Office of the President of the United States. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CMR-PREX23-00185928/pdf/CMR-PREX23-00185928.pdf>
- [2] Meltzer, J. (2022). A Critical Technology Standards Metric Assessing the Development of Critical Technology Standards in the Asia-Pacific. Brookings. September 2022. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2022/09/CTSM-Report-Sep-2022_Final.pdf
- [3] Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. (2015). What is an emerging technology? Research Policy, Volume 44, Issue 10, 2015, pp. 1827-1843, ISSN 0048-7333, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>.
- [4] Falck, O., Falk, S. (2024). Focus on critical key technologies: The race for leadership in industry and technology policy. EconPol Forum, CESifo, vol. 25(03), pages 42-46, May 2024. <https://www.ifo.de/DocDL/econpol-forum-2024-3-falck-falk-critical-key-technologies.pdf>
- [5] Loghin, D., Cai, S., Chen, G., Dinh, T.T.A., Fan, F., Lin, Q., Ng, J., Ooi, B.C., Sun, X., Ta, Q.-T., Wang, W., Xiao, X., Yang, Y., Zhang, M., Zhang, Z. (2020). The Disruptions of 5G on Data-Driven Technologies and Applications. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 32, no. 11, pp. 2192-2210, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1109/tkde.2020.2967670>
- [6] International Telecommunications Union. (2025). The Global Connectivity Report. ITU, Geneva, Switzerland. <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/global-connectivity-report-2025/>
- [7] Monsalve, C., Astudillo, G., Herrera, S. (2006). Análisis predictivo de las perspectivas de uso de identificadores por radiofrecuencia (RFID) en el Ecuador. ESPOL DSpace. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8310>
- [8] David, O., Thornley, P., Bagheri, M. (2023). Software Defined Networking (SDN) for Campus Networks, WAN, and Datacenter. 2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets), Istanbul, Turkiye, IEEE, pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1109/SmartNets58706.2023.10215722>
- [9] Perumal, S., Raman, V., Samy, G.N. Shanmugam, B., Kisenasamy, K., Ponnann, S. (2022). Comprehensive literature review on delay tolerant network (DTN) framework for improving the efficiency of internet connection in rural regions of Malaysia. Intl. Journal of System Assurance Engineering and Management, 13 (Suppl 1), 764-777. <https://doi.org/10.1007/s13198-022-01632-2>.

- [10] Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829–846. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>
- [11] Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., Zailani, S. (2022). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, 19, 100528. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100528>
- [12] Psaraftis, H. N., Kontovas, C. A. (2021). Decarbonization of Maritime Transport: Is There Light at the End of the Tunnel? *Sustainability*, 13(1), 237. <https://doi.org/10.3390/su13010237>
- [13] Neugebauer, J., Heilig, L., Voß, S. (2024). Digital Twins in the Context of Seaports and Terminal Facilities. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 36(3), 821–917. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09515-9>
- [14] Arbabkhah, H., Sedaghat, A., Jafari Kang, M., Hamidi, M. (2024). Automatic Identification System-Based Prediction of Tanker and Cargo Estimated Time of Arrival in Narrow Waterways. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 215. <https://doi.org/10.3390/jmse12020215>
- [15] Lv, X., Jiang, R., Chang, C., Shu, N., Wu, T. (2025). A Deep Learning Approach for Identifying Intentional AIS Signal Tampering in Maritime Trajectories. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(4), 660. <https://doi.org/10.3390/jmse13040660>
- [16] Acharya, D., Bernab e, P., Chevrot, A., Spieker, H., Gotlieb, A., Legeard, B. (2026). Context-Aware Autoencoders for Anomaly Detection in Maritime Surveillance (arXiv:2602.00124). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2602.00124>
- [17] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, Oct. 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- [18] Akintayo, T. A., et al. (2025). Exploring the intersection of AI and edge computing in IoT applications: A comprehensive review and future directions. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 6(3), 844–855. <https://ijrpr.com/uploads/V6ISSUE3/IJRPR39623.pdf>

[19] International Organization for Standardization, & International Electrotechnical Commission. (2023). Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology (ISO/IEC 22989:2022).

<https://www.iso.org/standard/74296.html>

[20] Turing, A.M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 49, 433-460. January 1950. <https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>

[21] Hayes-Roth, F. (1984). Knowledge-based expert systems — The State of the Art in the U.S. *The Knowledge Engineering Review*. 1984;1(2):18-27, June 1984. DOI:

<https://doi.org/10.1017/S0269888900000497>

[22] Raina, R., Madhavan, A., Ng, A.Y. (2009). Large-scale deep unsupervised learning using graphics processors, en *Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning (ICML '09)*, Montreal, Canada, ACM, Jun. 2009, pp. 873-880. DOI:

<https://doi.org/10.1145/1553374.1553486>

[23] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L., Polosukhin, I. (2017). Attention is All you Need, presentado en *31st Conferencia on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*, Long Beach, CA, Jun. 2017. DOI:

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>

[24] Sarker, I.H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, vol. 2, núm. 3, p. 160, Mar. 2021.

<https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>

[25] National Institute of Standards and Technology. (2001). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) (Department of Commerce, Washington, D.C.).

Enero 2023. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>

[26] International Organization for Standardization, & International Electrotechnical Commission. (2023). Information technology — Artificial intelligence — Management system (ISO/IEC 42001:2023). <https://www.iso.org/standard/42001>

[27] SAE International. (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (SAE J3016_202104).

https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles

- [28] International Organization for Standardization, & SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (ISO/SAE PAS 22736:2021). <https://www.iso.org/standard/73766.html>
- [29] Upcroft, B., Moser, M., Makarenko, A., Johnson, D., Donikian, A., Alempijevic, A., Fitch, R., Uther, W., Biermeyer, J.O., Gonzalez, H., Grotli, E., Templeton, T., Srin, V.P., Sprinkle, J. (2007). DARPA Urban Challenge Technical Paper: Sydney-Berkeley Driving Team. Technical paper. Junio 2007. https://ptolemy.berkeley.edu/projects/chess/pubs/379/DARPA_Urban_Challenge_Sydney_Berkeley_B161-TechnicalPaper.pdf
- [30] Likhitha, P. Kalyanam, H., Krishna Teja Sanku, S.S., Ponsam, G. (2024). Deep Learning in Autonomous Vehicles: A Comprehensive Review of Object Detection, Lane Detection and Scene Perception, en 2024 International Conference on Emerging Research in Computational Science (ICERCS), Diciembre 2024, pp. 1–5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10895424>
- [31] Ramalakshmi, K., Ganesh, S., KrishnaKumari, L. (2024). Security and Privacy Issues of AI in Autonomous Vehicles. In Artificial Intelligence for Autonomous Vehicles (eds. S. Rajendran, M. Sabharwal, Y.-C. Hu, R.K. Dhanaraj and B. Balusamy). <https://doi.org/10.1002/9781119847656.ch11>
- [32] International Organization for Standardization, & International Electrotechnical Commission. (2026). Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Overview (ISO/IEC 27000:2026). <https://www.iso.org/standard/27000>
- [33] John Kindervag (2010). Build Security Into Your Network’s DNA: The Zero Trust Network Architecture. https://www.virtualstarmedia.com/downloads/Forrester_zero_trust_DNA.pdf
- [34] U.S. Energy Information Administration. (2026). Energy Explained. Acceso 20/julio/2026. <https://www.eia.gov/energyexplained/>
- [35] Sharma, V. K., Monteleone, G., Braccio, G., Anyanwu, C. N., Aneke, N. N. (2025). A Comprehensive Review of Green Energy Technologies: Towards Sustainable Clean Energy Transition and Global Net-Zero Carbon Emissions. Processes, 13(1), 69. <https://doi.org/10.3390/pr13010069>



Georgia Tech **Panama**

Logistics Innovation & Research Center

un centro de innovación de



CONTÁCTANOS

(+507) 395-3030

georgiatechpanama@gatech.pa



gatechpanama