



NOTAS DE CLASE

INDUSTRIA 4.0

{Con ejemplos de programación}

`/* ***** Jaime E. Montoya M. ***** */`

NOTAS DE CLASE

INDUSTRIA 4.0

{Con ejemplos de programación}

```
/**
 * Versión 1.0
 * Fecha: 2025, semestre 2
 * Licencia software: GNU GPL
 * Licencia doc: GNU Free Document License (GNU FDL)
 */

class Author {
    String name = "Jaime E. Montoya M.";

    String profession = "Ingeniero Informático";

    String employment = "Docente y desarrollador";

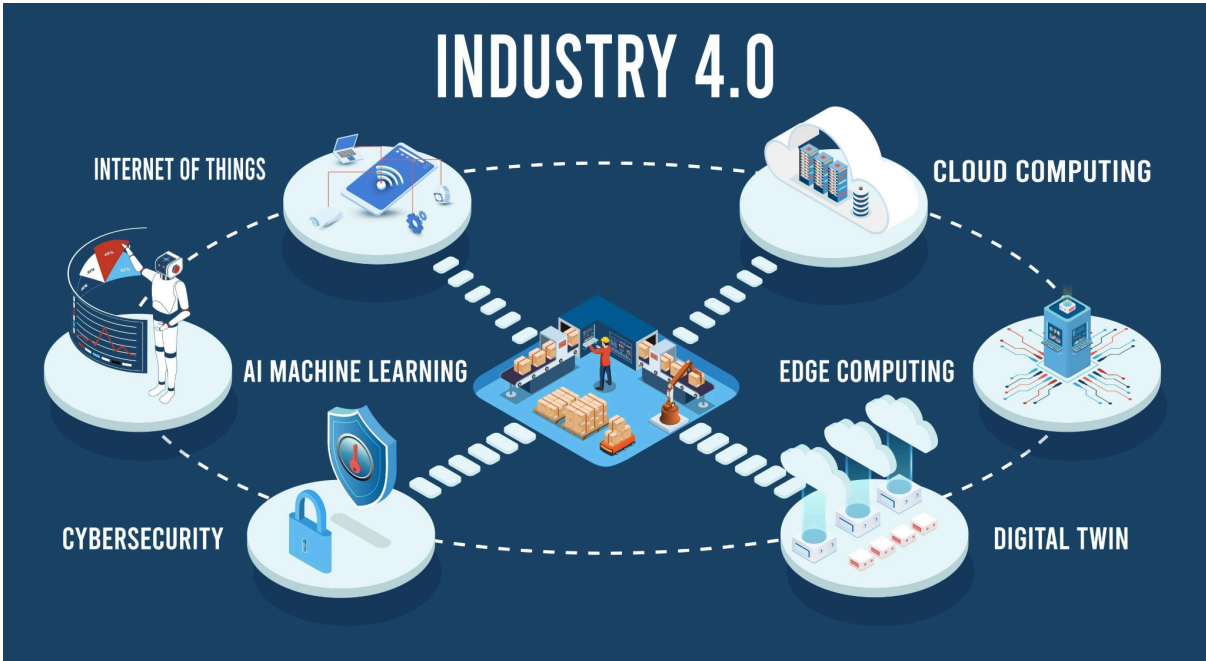
    String city = "Medellín - Antioquia - Colombia";

    int year = 2025;
}
```

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción a la Industria 4.0 | 4 |
| 1.1 Reseña y Evolución de la Revolución Industrial (de la Industria 1.0 a 4.0) | 4 |
| 1.2 Concepto y Origen de la Industria 4.0 | 5 |
| Concepto | 5 |
| Origen | 6 |
| 1.3 Características Fundamentales de la Industria 4.0 | 6 |
| 1.4 Diferencias entre Automatización e Interconectividad Digital | 7 |
| 2. Tecnologías Habilitadoras de la Industria 4.0 | 9 |
| 2.1 Internet de las Cosas (IoT): Sensores, Dispositivos y Redes  | 9 |
| 2.2 Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (Machine Learning)  | 9 |
| 2.3 Big Data y Análisis de Datos Industriales  | 10 |
| 2.4 Robótica Colaborativa y Autónoma  | 10 |
| 2.5 Manufactura Aditiva (Impresión 3D)  | 11 |
| 2.6 Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR)  | 11 |
|  Fuentes Bibliográficas | 12 |



1. Introducción a la Industria 4.0



1.1 Reseña y Evolución de la Revolución Industrial (de la Industria 1.0 a 4.0)

La **Industria 4.0** es la denominación de la Cuarta Revolución Industrial, un proceso de transformación profunda en la manufactura y producción impulsado por la digitalización. Para entender su magnitud, es esencial revisar las revoluciones industriales previas:

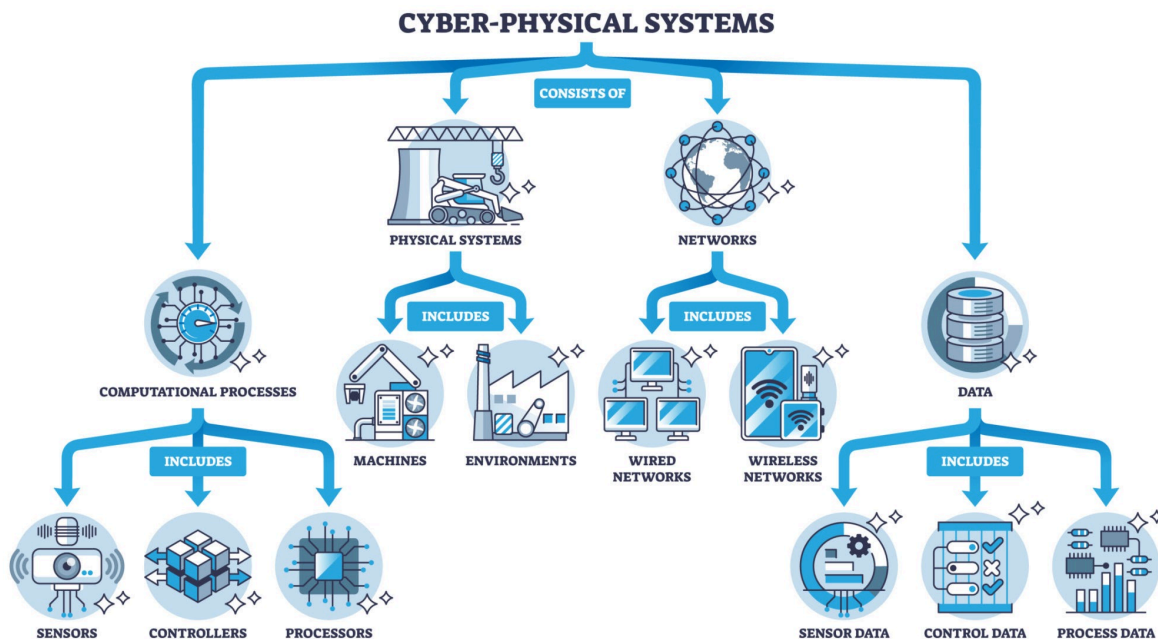
| Revolución | Época Aprox. | Innovación Clave | Fuente de Energía | Impacto Principal |
|----------------------|--|---|-------------------|--|
| Industria 1.0 | Finales del s. XVIII | Mecanización de la producción (telar mecánico, etc.) | Agua 💧 y Vapor 🔥 | Nacimiento de la fábrica y la producción en masa. |
| Industria 2.0 | Finales del s. XIX - Inicios del s. XX | Producción en masa y división del trabajo (línea de montaje de Ford) | Electricidad ⚡ | Producción estandarizada, incremento de la eficiencia y reducción de costes. |

| | | | | |
|----------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Industria 3.0 | Década de 1970 - 2000 | Automatización de la producción mediante electrónica y Tecnologías de la Información (IT) | Electrónica  e Informática | Mayor flexibilidad y precisión en la manufactura, inicio del control automatizado. |
| Industria 4.0 | Inicios del s. XXI - Actualidad | Ciber-Física e Interconectividad Digital masiva (Sistemas Ciberfísicos - CPS) | Datos  e Inteligencia | Creación de "fábricas inteligentes" y cadenas de valor globales, personalización masiva, toma de decisiones en tiempo real. |

1.2 Concepto y Origen de la Industria 4.0

Concepto

La **Industria 4.0** es la **transformación digital integral del sector industrial**, caracterizada por la **integración total de sistemas y máquinas** a lo largo de toda la cadena de valor (desde el proveedor hasta el cliente final) mediante las tecnologías de la información y la comunicación. Su esencia radica en la creación de **Sistemas Ciberfísicos (CPS)**, donde los objetos físicos (máquinas, productos, herramientas) están conectados a la red (Internet de las Cosas Industrial - IIoT) y se comunican entre sí para tomar decisiones de forma **autónoma** y en **tiempo real**.



Origen

El término "**Industria 4.0**" fue acuñado en **Alemania** en 2011, presentado como una iniciativa estratégica del gobierno alemán para promover la informatización de la fabricación. Se formalizó en la **Feria de Hannover** y rápidamente se adoptó a nivel mundial como el marco conceptual de la cuarta gran transformación industrial.

1.3 Características Fundamentales de la Industria 4.0

Las principales características o principios de diseño que definen la Industria 4.0 son:

1. **Interoperabilidad (Interconexión):** Es la capacidad de los Sistemas Ciberfísicos (CPS), humanos, máquinas y productos de comunicarse y cooperar entre sí a través del **Internet de las Cosas (IoT)** y el **Internet de los Servicios (IoS)**.
2. **Virtualización:** Se refiere a la capacidad de crear una **copia virtual (digital twin)** de la fábrica inteligente y sus procesos. Esto permite simular, monitorear y diagnosticar procesos de forma remota y en tiempo real.
3. **Descentralización (Toma de Decisiones Autónoma):** Los sistemas ciberfísicos tienen la capacidad de tomar decisiones descentralizadas y autónomas en el proceso productivo, basándose en la información que recogen, sin requerir intervención humana directa. La intervención solo se necesita para situaciones excepcionales o conflictos.
4. **Capacidades en Tiempo Real:** Los datos se recopilan, analizan y procesan instantáneamente, permitiendo una reacción inmediata a los cambios y optimizando

la productividad y la flexibilidad. Esto es crucial para la **toma de decisiones en tiempo real**.

5. **Orientación a Servicios (Modularidad):** La fábrica es modular y flexible. Los servicios de la empresa (internos y externos) se ofrecen y utilizan por los participantes de la cadena de valor, permitiendo nuevos modelos de negocio.
6. **Recolección de Big Data y Analítica:** Se generan y manejan volúmenes masivos de datos (Big Data), los cuales son analizados con herramientas avanzadas para obtener información valiosa (Analytics) que mejore la calidad y la toma de decisiones (Smart Data).

Tecnologías Clave: La Industria 4.0 se apoya en tecnologías disruptivas como el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, **Big Data y Analytics**, **Computación en la Nube (Cloud Computing y Edge Computing)**, **Inteligencia Artificial (IA)**, **Robótica Avanzada y Colaborativa**, **Ciberseguridad**, **Blockchain**, y **Manufactura Aditiva (Impresión 3D)**.

1.4 Diferencias entre Automatización e Interconectividad Digital

Aunque la Industria 4.0 se basa en la automatización, el concepto de **interconectividad digital (o ciber-física)** marca la diferencia fundamental con la Industria 3.0.

| Característica | Automatización (Industria 3.0) | Interconectividad Digital (Industria 4.0) |
|--------------------------|--|--|
| Enfoque Principal | Reemplazo de tareas manuales por sistemas electrónicos y computarizados (PLCs). | Conexión, comunicación e integración de todos los sistemas y objetos físicos en un ecosistema digital. |
| Control | Centralizado. Los sistemas operan siguiendo un programa predefinido. | Descentralizado y autónomo. Los Sistemas Ciberfísicos (CPS) toman decisiones en tiempo real. |
| Comunicación | Principalmente dentro de una máquina o entre pocas máquinas (silos de información ¹). Baja o nula comunicación con la cadena de valor externa. | Flujo de datos bidireccional, continuo y masivo entre máquinas, productos, sistemas de gestión (ERP, CRM, CMS) y agentes externos (proveedores, clientes). |

¹ Un silo de información (o silo de datos) es un conjunto de información aislada dentro de una organización, que está inaccesible o es difícil de compartir entre diferentes departamentos o sistemas. Esta segregación, causada por barreras tecnológicas o de proceso, impide la libre circulación de datos, lo que resulta en decisiones menos informadas, ineficiencia, inconsistencia de la información y pérdida de oportunidades de negocio.

| | | |
|---------------------|--|--|
| Datos | Utilización limitada para el control de procesos. El análisis es posterior y manual. | Generación y análisis constante de Big Data para la optimización y la predicción (Smart Data). |
| Flexibilidad | Limitada; requiere reprogramación para cambiar de producto. | Alta; permite la personalización masiva y la adaptación flexible de la producción. |

La **automatización** se centra en cómo se hace una tarea, mientras que la **interconectividad digital** se centra en cómo todos los sistemas y tareas se coordinan e interactúan de manera inteligente y autónoma.

2. Tecnologías Habilitadoras de la Industria 4.0

2.1 Internet de las Cosas (IoT): Sensores, Dispositivos y Redes

El IoT Industrial (IIoT) es el sistema nervioso de la Industria 4.0.

- **Rol Principal:** Conectar máquinas, sensores y sistemas para recopilar datos en tiempo real sobre el estado de la producción, el rendimiento de los equipos y las condiciones ambientales.
 - **Componentes Clave:**
 - **Sensores y Actuadores:** Dispositivos físicos que miden magnitudes (temperatura, vibración, presión) o realizan acciones (abrir/cerrar válvulas). Son el punto de origen de los datos.
 - **Dispositivos Edge/Gateway:** Equipos ubicados cerca de los sensores que realizan el **pre-procesamiento y filtrado de datos** (*Edge Computing*) antes de enviarlos a la nube. Esto reduce la latencia y la carga de la red.
 - **Redes de Comunicación:** Uso de tecnologías como 5G (por su baja latencia y alta densidad de conexión), LoRaWAN o redes industriales estándar (OPC UA) para garantizar una transmisión de datos fiable y rápida.
 - **Implicación en I4.0:** Permite el **mantenimiento predictivo** (actuar antes de que ocurra un fallo) y la creación de **Sistemas Ciberfísicos (CPS)**, donde la planta física está replicada en el mundo digital.
-

2.2 Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (Machine Learning)

La IA es el cerebro de la I4.0, responsable de transformar los datos en decisiones y acciones inteligentes.

- **Rol Principal:** Analizar patrones complejos en los datos, automatizar la toma de decisiones, optimizar procesos y permitir la auto-corrección de los sistemas.
- **Tipos de Aplicación:**
 - **Aprendizaje Supervisado (ML):** Usado en la **Inspección de Calidad** (clasificar productos defectuosos), donde se entrena a un modelo con datos etiquetados.
 - **Aprendizaje no Supervisado (ML):** Usado para la **Detección de Anomalías** y la segmentación de datos operacionales para encontrar patrones de comportamiento inusuales.
 - **Aprendizaje por Refuerzo (RL):** Se aplica en la **Optimización de Rutas** y en la toma de decisiones en entornos robóticos complejos, permitiendo que la máquina aprenda a maximizar una recompensa.

- **Implicación en I4.0:** Hace posible la **fabricación adaptativa**, permitiendo que las líneas de producción ajusten automáticamente sus parámetros en respuesta a las variaciones en la materia prima o la demanda.
-

2.3 Big Data y Análisis de Datos Industriales

El Big Data es el insumo fundamental para la IA, y el análisis industrial es el proceso para explotarlo.

- **Rol Principal:** Gestionar y procesar las "tres V" del Big Data industrial: **Volumen** (cantidad masiva de datos de sensores), **Velocidad** (datos generados y procesados en tiempo real) y **Variedad** (datos estructurados y no estructurados).
 - **Procesamiento de Datos:**
 - **Streaming Analytics:** Análisis en tiempo real, crucial para el control de procesos de alta velocidad.
 - **Análisis Predictivo:** Utilización de modelos estadísticos y de ML para predecir futuros estados de la maquinaria o la demanda del mercado.
 - **Data Lakes y Cloud Computing:** Infraestructuras necesarias para almacenar y escalar el procesamiento de datos de forma flexible (a menudo utilizando la Nube).
 - **Implicación en I4.0:** Aporta la **visibilidad total** de la cadena de valor y el piso de producción, permitiendo la correlación de datos de la máquina con datos de negocio (ERP/MES) para optimizar la eficiencia general del equipo (**OEE**).
-

2.4 Robótica Colaborativa y Autónoma

Evolución de la robótica tradicional hacia sistemas más flexibles, seguros e interactivos.

- **Robótica Colaborativa (Cobots):**
 - **Características:** Diseñados para trabajar sin vallas de seguridad, cerca de los humanos. Tienen **sensores de fuerza/par** y **límites de velocidad** para garantizar la seguridad.
 - **Aplicación:** Tareas repetitivas o ergonómicamente desafiantes que requieren la sensibilidad o destreza humana en la fase de ensamblaje o acabado.
- **Robótica Autónoma (AMR/AGV):**
 - **Características:** Vehículos y robots móviles que navegan y realizan tareas sin rutas predefinidas ni intervención humana directa. Usan IA y sensores avanzados (LiDAR, visión artificial) para interpretar el entorno.
 - **Aplicación:** Logística interna, transporte de materiales, inspección y monitoreo de grandes instalaciones industriales.
- **Implicación en I4.0:** Aumenta la **flexibilidad de la producción** y la **ergonomía** para los trabajadores, redefiniendo la interacción hombre-máquina hacia la colaboración.

2.5 Manufactura Aditiva (Impresión 3D)

Cambia el paradigma de producción sustractivo al aditivo, añadiendo material en capas.

- **Rol Principal:** Habilitar la **personalización masiva**, reducir los ciclos de desarrollo de productos y crear geometrías complejas que son imposibles con métodos tradicionales.
- **Estrategias de Implementación:**
 - **Impresión bajo Demanda:** Fabricación de piezas de repuesto o herramientas específicas justo cuando se necesitan, minimizando inventario y tiempo de inactividad.
 - **Personalización Masiva:** Ajuste de los diseños para clientes individuales a escala industrial.
 - **Nuevos Materiales:** Uso de metales, cerámicas y polímeros de alto rendimiento.
- **Implicación en I4.0:** Facilita la **producción distribuida** (imprimir un producto en cualquier lugar del mundo con una máquina 3D), mejorando la sostenibilidad al reducir el desperdicio de material.

2.6 Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR)

Conocidas en conjunto como **Realidad Extendida (XR)**, estas tecnologías fusionan los mundos físico y digital para mejorar la interacción humana con los sistemas ciberfísicos.

- **Realidad Aumentada (AR):** Superpone información digital (instrucciones, gráficos, datos de sensores) sobre la vista del mundo real del usuario (ej. a través de gafas inteligentes o tabletas).
 - **Aplicación: Asistencia en Mantenimiento** (el técnico ve instrucciones paso a paso proyectadas sobre la máquina), **Control de Calidad** y **Formación en el Trabajo**.
- **Realidad Virtual (VR):** Sumerge al usuario en un entorno completamente digital.
 - **Aplicación: Simulación y Diseño de Fábricas** (probar un nuevo *layout* antes de construirlo) y **Entrenamiento Inmersivo** para tareas peligrosas o complejas.
- **Implicación en I4.0:** Mejora la **eficiencia operativa** y reduce los errores humanos al proporcionar información contextualizada y capacitación inmersiva, acortando la curva de aprendizaje.



Fuentes Bibliográficas

1. **Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P.** (2018). *Industria 4.0: fabricando un futuro*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
2. **Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J.** (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech. (Documento fundacional de la iniciativa).
3. **Joyanes, L.** (2017). *Industria 4.0: La cuarta revolución industrial: La transformación digital de la industria*. Alfaomega Grupo Editor.
4. **Rojko, A.** (2017). Industry 4.0 Concept: Facts and Challenges. *Conferénce on Electrical, Electronic and Information Technologies (ICeA)*, pp. 77-80. (Útil para las 4 revoluciones y características).
5. **IBM.** (s.f.). *¿Qué es la Industria 4.0?*. Recuperado de la web de IBM. (Fuente para tecnologías y concepto).
6. **SAP.** (s.f.). *Industria 4.0: el futuro de la fabricación*. Recuperado de la web de SAP. (Fuente para definición y enfoque integral).