

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Evolución de la industria

En el sector industrial, primero se conoció sobre el poder del vapor y el agua con la máquina de vapor; después llegó la electricidad y los combustibles fósiles; luego la automatización... entonces, **¿Qué viene después?** Actualmente se está en medio de una cuarta ola de avances tecnológicos en el sector industrial: el surgimiento de la nueva tecnología industrial digital conocida como **Industria 4.0**, también llamada Cuarta Revolución Industrial, industria inteligente, fábrica del futuro, ciber-industria del futuro, revolución 4.0, internet industrial de las cosas, entre otros nombres.

Es así como esta nueva revolución propone conectar máquinas, sistemas y personas en los procesos de producción, mediante la combinación de sistemas ciberfísicos, *internet de las cosas* (IOT) e internet de los sistemas. Estos sistemas conectados harán posible recopilar y analizar datos entre máquinas, permitiendo procesos más rápidos, más flexibles y eficientes para producir productos de mayor calidad a un costo reducido.

La industria 4.0 está en camino y está teniendo un impacto en todas las industrias, y especialmente en la industria de los plásticos, a través de la innovación de máquinas modernas que apuntan hacia la sustentabilidad, integración e interconexión de datos.

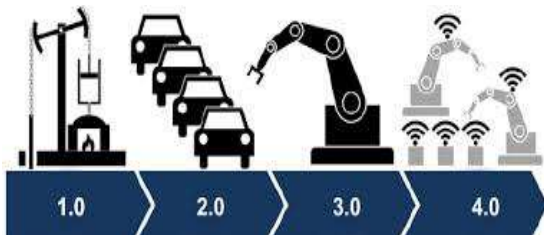


Figura 1. Evolución de la industria

En la **Primera Revolución Industrial** (1.0) entre 1760 y 1830, se construyó la primera máquina de vapor. Este invento marca el inicio de un cambio del trabajo manual a la

mecanización de la producción. El almacenaje de mercancía requería el movimiento producto por producto, ya que los almacenes eran simples espacios para guardar materia prima o productos terminados.



Figura 2. Máquina a vapor. Primera Revolución Industrial

La introducción de la electricidad y el petróleo a principios del Siglo XX marcan paso a la **Segunda Revolución Industrial** (2.0). Los sistemas mecánicos de tracción hidráulicos y de vapor, dieron paso a los eléctricos, lo que originó la producción en serie y la división del trabajo. Los almacenes se transformaron con la introducción de herramientas modernas, como el montacargas o las cadenas automáticas de producción. Esta revolución se caracterizó por el desarrollo de la industria química y petroquímica, que nace con la creación del primer plástico sintético (la baquelita), entre otros.



Figura 3. Producción en serie. Segunda Revolución Industrial

En 1969, se introduce el controlador lógico programable, el primer ordenador utilizado para la automatización industrial de procesos electromecánicos. Este invento marca el inicio de la **Tercera Revolución Industrial** (3.0), permitiendo programar diferentes labores para una máquina. El desarrollo de la programación permitió reducir costos e incrementar las capacidades de los robots industriales que transformaron las líneas de producción.

En la Tercera Revolución Industrial existieron grandes cambios gracias al uso de la electrónica e informática para desarrollar procesos automatizados, permitiendo incluir niveles de precisión y exactitud. A su vez, se incorporó el uso de la energía renovable, la automatización de los procesos y el uso del internet.

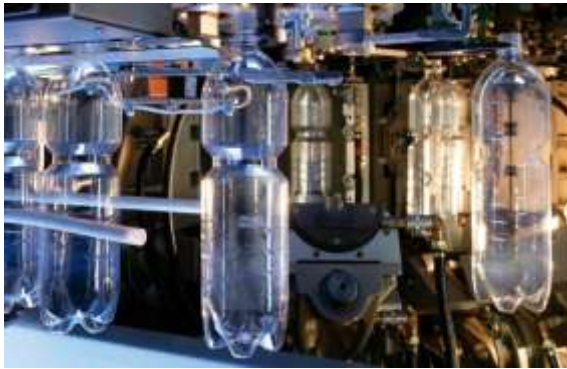


Figura 4. Automatización de la industria.  
Tercera Revolución Industrial

A finales de los años 90 y durante la primera década del nuevo milenio, el acceso a internet aceleró la tercera revolución industrial, pero no es sino hasta la aparición de los primeros productos inteligentes (que permiten la conexión móvil entre productos y personas), que se considera el inicio de la Cuarta Revolución Industrial.

La **Cuarta Revolución Industrial** (4.0) aún está en desarrollo y tiene como objetivo llevar la automatización de los procesos de fabricación a un nuevo nivel, mediante la introducción de tecnologías de producción en masa, flexible y personalizada. Aquí las máquinas se convierten en una entidad

independiente que pueden recopilar datos, analizarlos y gestionarlos.

“**Industria 4.0**” es el término acuñado por el gobierno alemán para describir la fábrica inteligente, una visión de la fabricación informatizada con todos los procesos interconectados por el “Internet de las Cosas” (Internet of Things – IOT, por sus siglas en inglés).



Figura 5. Digitalización de la industria.

## 1.2 Situación actual de la industria plástica

Hoy en día, la industria del plástico está razonablemente fragmentada; si bien la automatización es un proceso que está presente en la mayoría de las fábricas de plástico, no todos los equipos existentes en la industria pueden definirse como 4.0.

Sin embargo, la industria del plástico no ha quedado apartada de este concepto y los fabricantes de tecnología, principalmente europeos, han estado siguiendo los desarrollos para adaptarse a los cambios y ser parte del futuro industrial. El ahorro energético, los materiales y la eficiencia de los recursos, las líneas de producción inteligentes, rápidas y flexibles, además de los conceptos innovadores de reciclaje y nuevas áreas de aplicación para la fabricación de aditivos y plásticos orgánicos son algunos de los avances que se han dado en la industria del plástico. La mayoría de las innovaciones y mejoras buscan reducir el desperdicio, el consumo de energía en el proceso productivo, el peso de moldes y

piezas y, consecuentemente, el impacto ambiental.

## 2 LA FÁBRICA DEL FUTURO

Al igual que otros equipos *Smart*, la industria inteligente será una red en la que cada uno de los elementos que la constituyen estará comunicándose entre sí para crear lo que se conoce como Sistemas de Producción Ciberfísicos (CPS). Los sistemas Ciberfísicos apuntan a la digitalización, la integración y automatización de los procesos de computación y físicos.

La actualización hacia la industria 4.0 requiere de un amplio conocimiento en diversos campos específicos, por lo que resulta de gran interés entender y familiarizarse con los nuevos conceptos y términos que integran esta nueva era industrial.

Dentro de las nuevas tecnologías se encuentran dos grupos:

- Físicos: son las tecnologías que tendrán carácter tangible como fabricación aditiva, robótica, códigos inteligentes, dispositivos inteligentes, entre otros.
- Digitales: Son los que comprenden las tecnologías derivadas del Internet de las cosas, big data, nube, entre otros.



Figura 6. Componentes de la industria inteligente

### 2.1 Físicos

#### Equipos ciber físicos

Las máquinas inteligentes tienen la capacidad de procesar grandes cantidades de datos e intercambiarlos con otros equipos. En la industria plástica se están desarrollando máquinas inyectoras de plástico enfocadas en un sistema de control de datos, donde se reúne toda la información del proceso (dispositivos periféricos, robots, producción, calidad), para monitorear y permitir que los equipos se puedan auto ajustar.

#### Robótica colaborativa y manufactura flexible

Los robots colaborativos (cobots) ayudan a los operadores, liberándolos de tareas repetitivas, agotadoras o peligrosas. La inteligencia artificial, en robótica, describe la capacidad de reaccionar adecuadamente ante situaciones imprevistas no programadas.

En el sector de los empaques, por ejemplo, un robot que recibe un producto que se desvía del estándar en términos de geometría o forma, puede identificarlo y reaccionar en consecuencia. Otra aplicación de los robots en la industria plástica es el manejo rápido y preciso de los moldes por inyección, para la creación de series de producción cortas como el traslado de piezas calientes, la carga y descarga de máquinas y verificación de rebabas.

Dentro de los beneficios de los cobots en la industria plástica se destacan:

- ✓ Flexibilidad: adaptación a diferentes tareas de producción.
- ✓ Seguridad: evita la exposición del trabajador a tareas peligrosas.
- ✓ Aumento de producción: tienen un alto grado de repetibilidad y precisión.



Figura 7. Robot colaborativo

### Fabricación aditiva

Las impresoras 3D son máquinas capaces de realizar réplicas de diseños en tercera dimensión, creando piezas o maquetas volumétricas por capas sucesivas a partir de un diseño asistido por computador, descargado de internet o recogido a partir de un escáner. La impresión 3D permite el ahorro de costos y aumento de la calidad del producto.



Figura 8. Impresora 3D marca Stratasys [tomado del departamento de Aplicaciones – INDESCA].

## 2.2 Digitales

### Internet de las Cosas (IOT)

El *internet de las cosas* es un punto importante en la construcción de la industria 4.0, ya que, al referirse específicamente a procesos y fabricación, va de la mano con la interconexión entre máquinas y programas para generar procesos automatizados. Uno de sus objetivos es adaptar la producción a las necesidades del consumidor en tiempo real. Existen tres conceptos que deben considerarse para el internet industrial:

- Máquinas inteligentes como nuevas formas de conectar y mejorar procesos por medio de sensores avanzados, controles, redes y aplicaciones de software.
- Análisis avanzados basados en automatización, física, administración, entre otros, para comprender la operación de grandes sistemas y empresas.
- Personas conectadas al sector industrial en cualquier momento.

En consecuencia, el IOT permite que las máquinas y los sensores se comuniquen entre sí, logrando que los objetos trabajen y resuelvan problemas de forma autónoma.

Con el internet industrial de las cosas, más dispositivos se enriquecerán con la información que pueden enviar y estarán interconectados con diferentes equipos, descentralizando el análisis de la información y la toma de decisiones.

De esta manera, el almacenamiento y análisis de datos puede ser usado para mejorar el rendimiento de las máquinas y la eficiencia de los sistemas y procesos, al igual que la experiencia de los clientes.



Figura 9. Interconexión de máquinas y personas

### *Seguridad cibernética*

Debido a que se manejan grandes cantidades de información a través de las redes públicas (vía internet) y privadas (vía intranet) de las empresas, es necesario mantener la mayor seguridad de información para evitar el ingreso de virus y el plagio de información.

### *La nube*

Se trata del acceso instantáneo y en todo momento de datos o información a través del internet. Ya existen empresas que manejan software en la nube, por lo que con la llegada de estas tecnologías a las plantas industriales, las empresas requieren un mayor intercambio de datos entre las distintas áreas sin depender de los sistemas físicos de almacenamiento de la maquinaria o de los equipos en el área de sistemas de la empresas.

### *Big Data*

Es una tecnología de análisis de datos que unidos con máquinas e inteligencia ofrecen importantes funcionalidades, además de almacenar y procesar en tiempo real procesos básicamente desde la "nube" o la web.



Figura 10. Almacenamiento en la nube

## **3 PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LA INDUSTRIA 4.0**

El diseño de esta industria permitirá a los fabricantes investigar una posible transformación hacia las tecnologías de la industria 4.0.

Los principios de este diseño son:

- ✓ Capacidad en tiempo real. Recopila datos, almacena, analiza y toma decisiones en tiempo real.
- ✓ Virtualización. Los CPS deben crear una copia virtual de todo el proceso.
- ✓ Descentralización. Capacidad de los CPS de trabajar forma independiente.
- ✓ Orientación al servicio. Conexión de internet de los servicios para crear productos según especificaciones del cliente.

## **4 BENEFICIOS Y SOLUCIONES DE LA INDUSTRIA 4.0 AL SECTOR PLÁSTICO**

A través de la implementación de conceptos de la industria 4.0 se pueden obtener importantes beneficios de las inversiones. Las previsiones tempranas indican un incremento de ingresos que se estiman superiores al 30% y reducciones de costos de más de un 30%.

## 4.1 Procesos y recursos

Desde el punto de vista del proceso, las nuevas tecnologías apuntan a la disminución de energía de hasta un 30% y tiempos más cortos de operación, con reducciones de hasta un 50%. Existen máquinas inyectoras, por ejemplo, que proporcionan velocidades de inyección hasta de 1000 mm/seg.

## 4.2 Uso de activos

La posibilidad de que la maquinaria admita cambios y automatización en las operaciones, capaces de realizarse sin requerir ajustes complejos, facilita la adaptación y respuesta al mercado, gracias a la reducción (de 30-50%) de tiempos muertos.

Por su parte, el mantenimiento predictivo permite anticipar cuándo podría ocurrir un fallo del equipo, previniendo su ocurrencia al realizar el mantenimiento de manera oportuna, eliminando de esta manera las causas de fallos sistémicos.

## 4.3 Sustentabilidad

Se destacan los aportes que el sector ha dado con la inclusión de procesos más limpios con respecto al medio ambiente, reutilizando materia prima. Un ejemplo de ello es la fabricación de máquinas de moldeo por inyección de plástico, soplado y otros equipos periféricos, que pueden usar plásticos reciclados como materia prima.

## 4.4 Capital humano

La adopción de nuevas tecnologías tendrá efectos en la educación y la capacitación de la mano de obra. La automatización del trabajo es el uso de computadoras para realizar tareas que dependen de análisis complejos y resolución creativa de problemas, sin fatigar al personal y permitiendo que pueda ser redirigido el uso de sus conocimientos.

## 4.5 Inventarios

Las nuevas tecnologías tienden a reducir los inventarios entre el 50-80%, mediante la optimización de la cadena de suministro en tiempo real.

## 4.6 Calidad

Se eliminan las deficiencias de calidad causadas por procesos de fabricación inestables, empaques deficientes en la cadena de suministro o distribución. Se logra una disminución de la calidad no óptima de entre el 10-20%. Además, se incluye el control estadístico, mediante un aumento exponencial de los datos disponibles y las técnicas estadísticas, que permitirán a la industria llegar a nuevos niveles de eficiencia en temas como, por ejemplo, la reducción de piezas defectuosas, logrando que muchas empresas puedan llegar a categoría 6 sigma<sup>1</sup>, sin grandes inversiones.

## 4.7 Ajuste del mercado

Finalmente, la industria 4.0 permite el ajuste de la oferta a la demanda existente. La disponibilidad de datos en tiempo real, incluyendo las tendencias del mercado, el clima, entre otros, permitirá una predicción más precisa de la demanda de los clientes.

Además, las herramientas de simulación son los mejores aliados justo al comienzo del ciclo de vida de un producto. Con ellas, es posible reducir drásticamente los tiempos de desarrollo y hacer posible, desde la fase del diseño 3D, modificar las propiedades de un producto.

## 5 DESAFÍOS QUE ENFRENTA LA INDUSTRIA 4.0

La industria inteligente enfrenta desafíos que debe superar como:

- Seguridad: el robo cibernético es una amenaza latente con las fugas de datos, hackers y fallas, por lo que es indispensable la búsqueda de soluciones que protejan datos, conexiones e infraestructuras virtuales.
- Capital: el cambio de una nueva tecnología requiere una gran inversión.

---

<sup>1</sup> 6 *sigma* es una estrategia de mejora de los procesos, centrada en reducir o eliminar los defectos y/o fallas en la entrega de un producto servicio.

La duda actual es conocer el porcentaje de empresas que tienen la suficiente capacidad de inversión y gestión para la transformación.

- Privacidad: en una industria tan interconectada, los fabricantes necesitan recopilar y analizar datos. Para el cliente podría parecer una amenaza para su privacidad. Se debe trabajar para lograr un entorno más transparente.
- Empleo: Sin duda, la digitalización creará nuevos puestos de trabajo altamente calificados en las áreas de planificación, configuración y mantenimiento de las nuevas tecnologías. Sin embargo, es posible que los trabajadores poco calificados salgan afectados. No obstante, pueden haber mejoras ergonómicas en los trabajadores a medida que las tareas repetitivas sean asumidas por robots. Es por ello que los trabajadores tendrán que adquirir rápidamente nuevas habilidades para asumir las fábricas inteligentes.

## 6 EQUIPOS, MAQUINARIAS Y PROCESOS EN LA INDUSTRIA PLÁSTICA

Bajo el concepto de "Industria 4.0", se ofrece una mayor automatización para el control de la calidad y la disminución de los costos a través de la reducción de tiempo de ciclos y los controles de peso de los productos. Los nuevos equipos tienen sistemas para monitorear la producción y el mantenimiento, así como las variables más importantes que pueden ocasionar defectos en los productos.

### 6.1 Extrusión

En la actualidad, se destaca la fabricación de extrusoras de doble tornillo, con aumento en la capacidad de producción de hasta 20% y reducción del consumo energético en un 15%. También están equipadas con sensores avanzados que soportan capacidades de diagnóstico para la planificación del mantenimiento preventivo y el monitoreo de parámetros de calidad del producto.

### 6.2 Soplado de películas

Está disponible una nueva tecnología de anillos de enfriamiento para la extrusión de películas, que incrementa el rendimiento en la extrusión de películas sopladas hasta un 60%. Un ejemplo es el Sistema de enfriamiento ICE de Addex que consiste en una serie de anillos de enfriamiento colocados en una configuración apilada para alcanzar mayores rendimientos. Cada anillo de aire dirige un flujo de aire divergente a lo largo de la burbuja, tanto hacia arriba como hacia abajo, desde cada elemento de enfriamiento apilado.



Figura 11. Sistema de enfriamiento ICE de Addex [tomado del boletín técnico: Feria K 2016 – INDESCA].

Otra tecnología es la automatización de cabezales planos de extrusión, para aumentar la carrera del sistema de ajuste de labios en un 43%, a fin de permitir la corrección de las variaciones del proceso sin necesidad de una intervención manual.

### 6.3 Inyección

Los grandes y reconocidos fabricantes de máquinas de inyección presentan sistemas auto-regulados e interconectados entre máquinas y componentes. Un ejemplo es la máquina inyectora 4.0 de *Engel*, la cual se optimiza de forma automática gracias a la

interconexión e integración de los sistemas de producción y el aprovechamiento de los datos de procesos. El sistema de control inteligente analiza los parámetros de operación como el tiempo de plastificación, perfil de temperaturas, perfil de presión, enfriamiento y desmolde para garantizar la calidad del producto. A su vez, trabaja con un software que proporciona una visión general de todo el proceso.



Figura 12. Máquina inyectora Engel [tomado de la feria Plastimagen 2016].

## 7 POLINTER Y LA INDUSTRIA 4.0

Polinter, con el apoyo de Indesca, ha venido trabajando en la última década en el desarrollo de la industria 4.0, en lo que corresponde a la producción de artículos de PE en Venezuela. Así, por ejemplo, ha participado en la generación de prototipos mediante la impresión 3D, obteniendo muestras - a pequeña escala - de los productos diseñados, para estudiar la conveniencia de mantener o modificar su geometría antes de que los transformadores lleven a cabo grandes inversiones en moldes de equipos industriales.

Tal es el caso de los pupitres rotomoldeados<sup>9,15</sup>, desarrollo de Polinter junto a la empresa Q' Productos, con el cual obtuvo el premio "Single Part Design" en la Competencia Internacional de Diseño en Plásticos (International Plastics Design Competition), celebrada en Chicago, Estados Unidos, en el marco de la exhibición de la National Plastics Exhibition (NPE) y la conferencia ANTEC (Annual Technical Conference) de la Sociedad de Ingenieros Plásticos (SIP), en el año 2009.



Figura 13 Prototipo de pupitre creado por Impresión 3D en Indesca

Otro ejemplo del aprovechamiento de la tecnología lo constituye el desarrollo de un selector, que permite predecir las propiedades de películas plásticas<sup>9,14</sup>. Este estudio se encuentra relacionado con el almacenamiento de datos "Big Data" adaptado a interfaz gráfica y ecuaciones matemáticas, que permiten a los usuarios anticipar las propiedades resultantes en películas plásticas elaboradas con resinas grados Venelene<sup>®</sup>.

## 8 CONCLUSIONES

El concepto de **industria 4.0** busca la mejor integración de procesos automatizados, a través de la interconexión de sus equipos, con el fin de reducir costos de operación y agregar valor al producto terminado. Estas tecnologías se componen de: simulación, robótica, sistemas de integración, internet, ciberseguridad, la nube, Big Data, impresión 3D, entre otros.

La asistencia inteligente permite una gama mucho más amplia de aplicaciones con el uso de la información automática, evaluación de datos, monitoreo en tiempo real y las capacidades analíticas para impulsar la eficiencia en los activos operativos. Ella brinda a los fabricantes la posibilidad de que inicien sistemas basados en el conocimiento, para mejorar los



procesos y utilizar de manera óptima a las personas y las máquinas.

La industria del plástico, como otras, considera las opciones disponibles en el mercado y se adapta a las nuevas tecnologías, como una oportunidad para crecer y aumentar las posibilidades hacia el futuro, con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente y ser más competitivos.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 9.1 Aimplas.** Adaptación del sector plástico a la industria 4.0 [en línea] [citado el: 09 de Septiembre de 2019] <https://www.aimplas.es/blog/adaptacion-del-sector-plastico-a-la-industria-4-0/>.
- 9.2 Plastic Technology Mexico.** Industria 4.0 para empresas del sector plástico [en línea] [citado el: 10 de Septiembre de 2019] <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/industria-40-para-empresas-del-sector-plastico>.
- 9.3 Vistazo.** El reto de la industria 4.0 en el sector plástico [en línea] [citado el: 10 de Septiembre de 2019] [www.vistazo.com](http://www.vistazo.com) <https://www.vistazo.com/seccion/enfoque/el-reto-de-la-industria-40-en-el-sector-plastico>.
- 9.4 Tecnología del plástico.** ¿Qué significa la industria 4.0 para el sector plástico? [en línea] [citado el 11 de septiembre de 2019] <http://www.plastico.com/blogs/Que-significa-Industria-40-para-el-sector-del-plastico+117775>.
- 9.5 Termowatt.** Mantenimiento industrial de la industria 4.0 [en línea] [citado el 12 de septiembre de 2019] <http://www.termo-watt.com/blog-actualidad/86-mantenimiento-industrial-de-la-industria-4-0>.
- 9.6 Grupo Garatu.** Tecnologías imprescindibles para la industria 4.0 [en línea] [citado el 17 de septiembre de 2019] <https://grupogaratu.com/8-tecnologias-imprescindibles-industria-40/>.
- 9.7 3Dnatives.** Plásticos en la impresión 3D [en línea] [citado el 17 de septiembre de 2019] <https://www.3dnatives.com/es/plastico-s-impresion-3d-22072015/>
- 9.8 TyN Magazine.** La industria 4.0 crece de la mano de las impresoras 3D [en línea] [citado el 18 de septiembre de 2019] <https://www.tynmagazine.com>
- 9.9 Modern Extrusion World.** La revolución de Moretto en el control del proceso de secado. [en línea] [citado el 18 de septiembre de 2019] <https://modernextrusionworld.com>
- 9.10 Ambiente plástico.** Coperion y Coperion K-Tron mostrarán en K 2019 tecnologías innovadoras para el procesamiento de plásticos. [en línea] [citado el 19 de septiembre de 2019] <https://www.ambienteplastico.com>
- 9.11 Sanchez, Jorge.** "Boletín técnico: resumen feria K 2016". Proyecto: PLT-ME-0317-02-03. SS 17121. INDESCA, Marzo 2017.
- 9.12 Linares, Jesus.** "Diseño de incubadora" Proyecto PLT.ME-0214-02-02. SS14339. INDESCA, Noviembre 2014.
- 9.13 Marín, Luis.** "Tapas de alcantarillas en PE. Idea preliminar" Proyecto: PLT-ME-0414-01-16 SS14265 INDESCA, Julio 2014
- 9.14 Fuenmayor, Jesús.** "Predictor de propiedades de película" Proyecto: PLT-ME-0417-01-02 SS17115 INDESCA, Julio 2017.
- 9.15 Bohorquez, Joel.** "Pupitres rotomoldeados" Proyecto: PLT-P-0209-02-01. SS 09066. INDESCA, Enero 2009.