

“Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”

Saltillo, Coahuila a 9 de noviembre de 2017

**Coordinación de Posgrado**

**Presente**

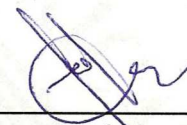
Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de Caso de Estudio preparado por **XÓCHITL ALEJANDRINA CORONA MARTÍNEZ** titulado **“Identificación y análisis de algunas tendencias tecnológicas que están cambiando la industria de transformación de plásticos”** el cual fue presentado el día **8 de noviembre de 2017**, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de Caso de Estudio.

Atentamente,



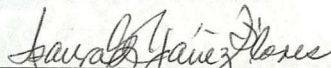
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Guillermo Martínez Colunga**  
Presidente

**SINODALES**



\_\_\_\_\_  
**Dr. José Francisco Hernández Gámez**  
Vocal

**Vo. Bo. del ASESOR**



\_\_\_\_\_  
**M.C. Isaura Gpe. Yáñez Flores**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**“IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNAS  
TENDENCIAS TECNOLÓGICAS QUE ESTÁN CAMBIANDO  
LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**XOCHITL ALEJANDRINA CORONA MARTÍNEZ**

**SALTILLO, COAH.**

**OCTUBRE 2017**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**“IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNAS  
TENDENCIAS TECNOLÓGICAS QUE ESTÁN CAMBIANDO  
LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**XOCHITL ALEJANDRINA CORONA MARTÍNEZ**

**ASESOR: MC. ISAURA GPE. YAÑEZ FLORES**

**SALTILLO, COAH.**

**OCTUBRE 2017**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**“IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNAS  
TENDENCIAS TECNOLÓGICAS QUE ESTÁN CAMBIANDO  
LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS**

**PRESENTA:**

**XOCHITL ALEJANDRINA CORONA MARTÍNEZ**

**EVALUADORES:**

**PRESIDENTE: Dr. Guillermo Martínez**

**VOCAL: Dr. José F. Hernández**

**SALTILLO, COAH.**

**OCTUBRE 2017**

## ÍNDICE

<b>CAPITULO I -</b>	<b>Introducción</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO II -</b>	<b>Revisión Bibliográfica</b>	<b>9</b>
<b>II.1.</b>	Manufactura aditiva	<b>12</b>
<b>II.1.1.</b>	Principales tecnologías	<b>13</b>
<b>II.1.2.</b>	Ventajas y Limitaciones	<b>17</b>
<b>II.1.3.</b>	Aplicaciones	<b>19</b>
<b>II.1.4.</b>	Algunos ejemplos de las fallas que se pueden presentar durante el proceso de impresión 3D	<b>21</b>
<b>II.2</b>	Internet de las cosas (IoT)	<b>23</b>
<b>II.2.1</b>	En las industrias de proceso y las empresas el IoT tiene diversas perspectivas	<b>25</b>
<b>II.3</b>	Robótica de nueva generación	<b>27</b>
<b>II.3.1</b>	Alfa Robot	<b>29</b>
<b>II.3.2</b>	Apex SC.	<b>29</b>
<b>II.3.3</b>	Robot SDR Demag	<b>30</b>
<b>II.3.4</b>	Wemo	<b>30</b>
<b>II.3.5</b>	MH5	<b>31</b>
<b>II.3.6</b>	SR Mate 200Ia	<b>31</b>
<b>II.3.7</b>	Cobots	<b>32</b>
<b>II.3.8</b>	Sustentabilidad	<b>34</b>
<b>II.4</b>	Plásticos termoestables-reciclables	<b>36</b>
<b>II.4.1</b>	Economía Circular	<b>39</b>
<b>CAPITULO III-</b>	<b>Estado Actual del Conocimiento</b>	<b>41</b>
<b>III.1.</b>	Sistema Freeformer (APF)	<b>42</b>
<b>III.2.</b>	Nuevos modelos de máquinas inyectoras	<b>43</b>
<b>III.3.</b>	ELE ALL ELECTRIC (50-350 toneladas)	<b>45</b>
<b>III.4.</b>	EOS ST (70-180 toneladas)	<b>46</b>
<b>III.5.</b>	Plásticos en el espacio	<b>47</b>
<b>III.6.</b>	Moldes Inteligentes	<b>48</b>

<b>CAPITULO IV-</b>	<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.</b>	<b>Robótica</b>	<b>51</b>
<b>IV.2.</b>	<b>Internet de las cosas (IoT)</b>	<b>52</b>
<b>CAPITULO V-</b>	<b>Conclusiones y</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO VI-</b>	<b>Recomendaciones.</b>	<b>55</b>
<b>CAPITULO VII-</b>	<b>Referencias Bibliográficas.</b>	<b>56</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La industria del plástico es una industria relativamente joven, la cual apenas en el año 2004 cumplió 94 años de edad. Se dice que los primeros 50 años correspondieron a la investigación y la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes veinte años a la difusión de información y aprovechamiento de ellos y los últimos veinte años para optimizar el uso de los mismos.

Durante los años de la posguerra luego de la segunda guerra mundial se mantuvo elevado el ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos, ya que hubo especial interés en los avances en plásticos técnicos, debido a que comenzaron a utilizarse estos materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones extremas<sup>1</sup>.

Debido a que la humanidad pasó de formas de vida tradicionales basadas en la agricultura, la ganadería y la producción artesanal, a otras fundamentadas en la producción industrial y la mecanización; esto propició un acelerado proceso de urbanización que alteró profundamente las estructuras económicas, sociales, así como la mentalidad de los hombres, dando lugar a la llamada revolución industrial.

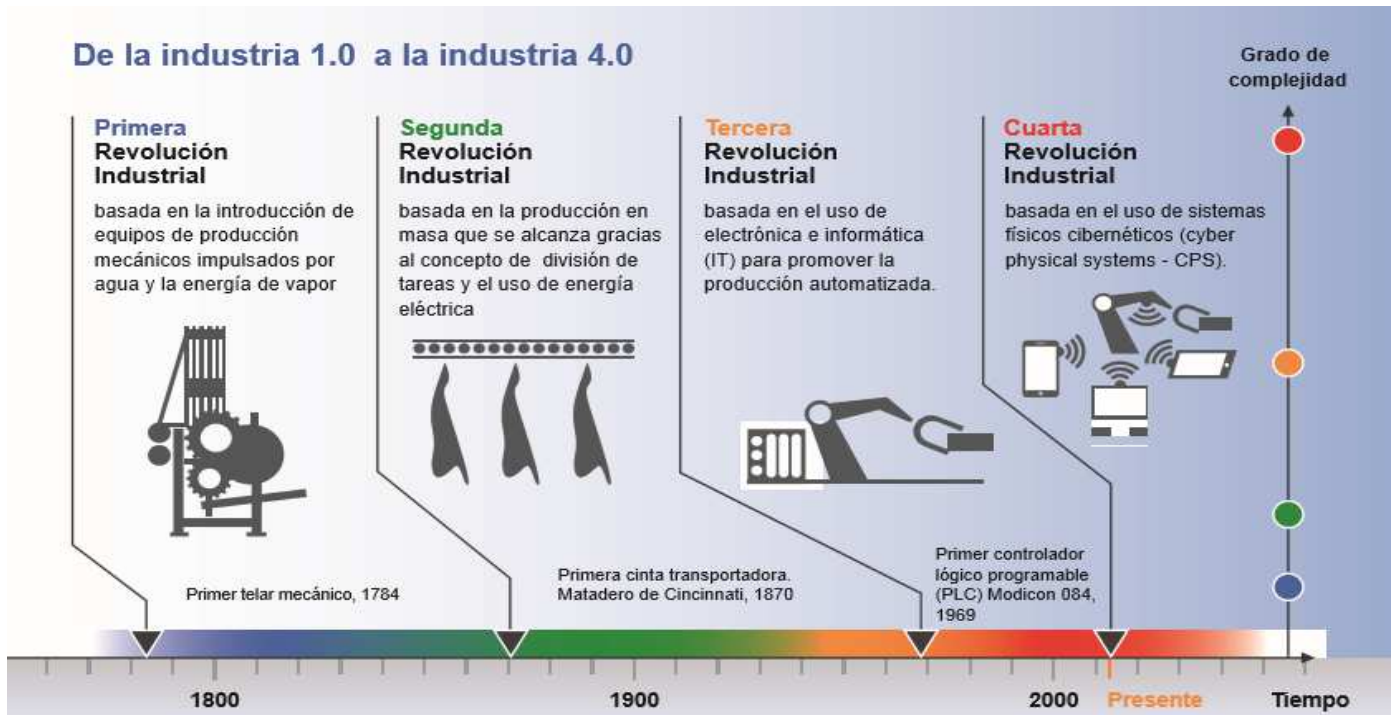


Figura I.1. Descripción de la revolución industrial a lo largo de los años.<sup>2</sup>

“La primera Revolución Industrial, **Industria 1.0**, se refiere a la introducción del telar mecánico en 1784, simplificando el proceso de fabricación de textiles. La segunda, **Industria 2.0**, fue la línea de montaje en 1913, de Henry Ford, que permitió la producción en masa, especialmente de automóviles. Y la tercera, **Industria 3.0**, que resalta el uso del primer PLC (Programmable Logic Controller) en 1969, el cual añadió la inteligencia a los equipos de las plantas, permitiendo incrementar el tiempo de actividad del sistema. Con estos avances y la inclusión del Internet, se ha dado paso a la siguiente revolución, la **Industria 4.0**.”<sup>3</sup> (Fig.1)

Considerando que la **Industria 4.0**, básicamente, consiste en una nueva era tecnológica; la industria de los plásticos no se encuentra fuera de esto, ya que la implementación de nuevas tecnologías es necesaria en los sistemas utilizados para hacer más eficiente los procesos, así como, para la generación de nuevos productos.

En comparación con otras industrias, el sector de procesos de transformación de plásticos se encuentra aun descubriendo los beneficios que se pretenden alcanzar en esta nueva era; las nuevas tecnologías están siendo implementadas poco a poco y, los procesos tradicionales utilizados cotidianamente, están siendo renovados.

Hoy en día las empresas que realizan procesos de transformación de plásticos cuentan con áreas de investigación y desarrollo donde, por medio de éstas, buscan mejorar y eficientizar sus procesos y, con ello, aumentar las ganancias, disminuir la contaminación, disminuir los residuos producidos, entre otras cosas, con el simple objetivo de mejorar su nivel de competitividad y ser o permanecer como una buena opción en el mercado.

Entre las principales tecnologías con las que la industria de los procesos de transformación de plásticos se está incorporando a la revolución **industrial 4.0**,<sup>4</sup>son:

1. Manufactura aditiva
2. Internet de las cosas
3. Robótica de nueva generación
4. Plásticos termoestables-reciclables

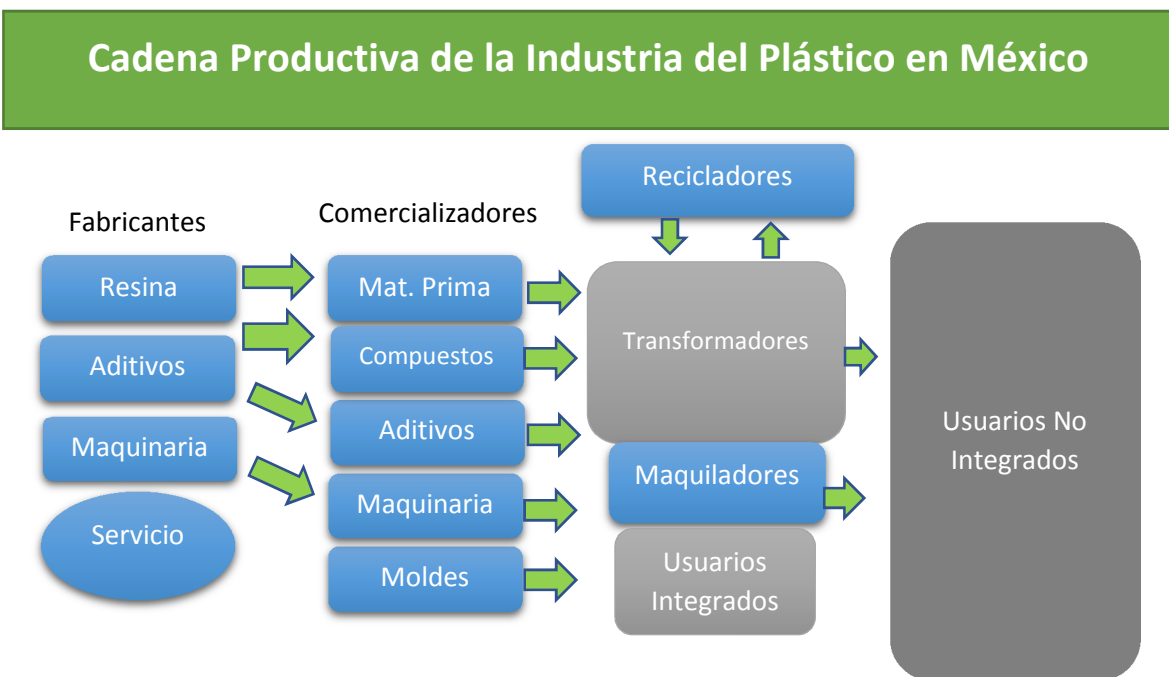


Resultando así una influencia positiva sobre los procesos y la vida humana pues el propósito de esta innovación siempre será mejorar condiciones, facilitar los trabajos para obtener más con menos, causando el menor daño posible al ecosistema.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los plásticos son materiales que cuentan con la capacidad de adquirir una forma determinada por medio de diversos métodos y procesos, aplicando temperatura y presión.

Los procesos de transformación de plásticos se pueden clasificar según el tipo de cambio de estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria como procesos primarios (Extrusión, inyección, soplado, etc.) y procesos secundarios (Termoformado, doblado, corte, etc.). La cadena productiva de la industria de plásticos de México se puede dividir en 4 áreas: Fabricantes, comercializadores, transformadores y clientes. (Fig.1)



*Figura II.1.<sup>5</sup> Los cuatro sectores en la cadena productiva de la Industria del Plástico.*

Históricamente, la necesidad de innovación en instrumentos y equipos utilizados tradicionalmente ha dado pie a lo que se conoce como una revolución industrial. La primera se presentó, a fines del Siglo XVIII. A la que se le podría denominar **INDUSTRIA 1.0**, comenzó con la introducción de equipos de producción mecánicos impulsados con agua y vapor. Refiriéndose a una revolución basada en la producción mecánica en las que aparecieron las primeras máquinas a vapor y el uso inteligente de recursos hídricos y de la potencia hidráulica.

La segunda revolución industrial (**INDUSTRIA 2.0**), implicó el uso de la ingeniería eléctrica y el impulso de sistemas de producción masiva basadas en esta energía. En 1870 aparece la primera banda transportadora (*moving belt conveyor*) implementada por Henry Ford.

La tercera revolución o **INDUSTRIA 3.0** se considera a partir de 1969 cuando apareció el primer Controlador Lógico Programable o PLC (Programmable Logic Controller).

En la actualidad, se considera que estamos experimentando una nueva revolución. Debido a que nos encontramos inmersos en un proceso de evolución donde las industrias o fábricas a nivel global, deben incorporar y fusionar procesos cada vez más inteligentes y modernos; las máquinas y los productos deberán complementarse, con toda la planta industrial y con el consumidor final y donde, la producción estará basada en procesos cooperativos de auto-organización y auto-optimización.

Debido a que el cambio ya está llegando, la **Industria 4.0** simplemente significa un nuevo enfoque en la fabricación de los productos, pues consolida avances, es decir, mejoras principalmente en sensores y maquinaria.

La automatización en los procesos, en particular, de transformación de plásticos aunado a los avances en digitalización y conectividad abre grandes posibilidades para modificar, principalmente, la manera en cómo operarían las empresas del plástico; incrementándose las operaciones donde la participación del humano se reduciría de manera drástica al sustituirse por sistemas tecnológicos, como robots o la implementación de redes de comunicación entre las diferentes empresas sin necesidad de estar una cerca de otra.

"La **Industria 4.0** es un término que estamos usando para todas aquellas tecnologías que nos lleven a que las empresas entren en conceptos de cadena de valor. Estaríamos hablando de sistemas que son espacios reales-virtuales o virtuales-físicos, que nos llevan a la Internet de los servicios, de los aparatos y demás, todo eso facilitándonos el futuro que serían las empresas inteligentes, es decir, la **Industria 4.0** permitirá llegar a tener *Smart Factories*", explica la Dra. María del Pilar Noriega.<sup>2</sup>

La Dra. Schaper-Rinkel, catedrática del Instituto Técnico de la Universidad de Berlín, menciona que "la promesa de **Industria 4.0** es aumentar la productividad, reducir los costos

operativos y hacer frente al gran desafío, tanto del cambio climático como de la medicina individualizada, a lo largo de la próxima década”.

Esta nueva fase de la digitalización del sector industrial se ve impulsada por cuatro principios:

- 1) Aumento de los volúmenes de datos que maneja la empresa.
- 2) Computadoras más potentes para el nuevo volumen de datos que se pretenden generar.
- 3) Computadoras con mayor capacidad de análisis de datos generados en los procesos.
- 4) Mejorar la interacción de las personas con la maquinaria y/o robots.

Esto da lugar a una reducción de costos, pues al implementar la digitalización se tiene mayor control del proceso; eliminando errores, disminuyendo de tiempos muertos, adquiriendo una mayor versatilidad del proceso, al hacerlo adaptable a la demanda del mercado, obteniendo una ventaja competitiva; así como, utilizar de una manera más productiva el tiempo del personal. Mejorando las líneas de producción al aprovechar y utilizar, de manera adecuada, las nuevas bases de datos se obtiene una mejora en el flujo de producción.<sup>6</sup>

“La **Industria 4.0** es un desafío importante a las empresas pues al modificarse las competencias y habilidades requeridas de su capital humano, la plantilla laboral de las mismas tendrá que re-estructurarse en forma sustancial. Las remuneraciones totales al personal ocupado en la industria mexicana del plástico ascienden a 2,500 millones de dólares anuales de modo que si **Industria 4.0** diera pie a la sustitución de un 10% de personal por sistemas ciber-físicos, se justificaría la inversión de hasta 250 millones de dólares anuales en estas nuevas tecnologías.”<sup>7</sup>

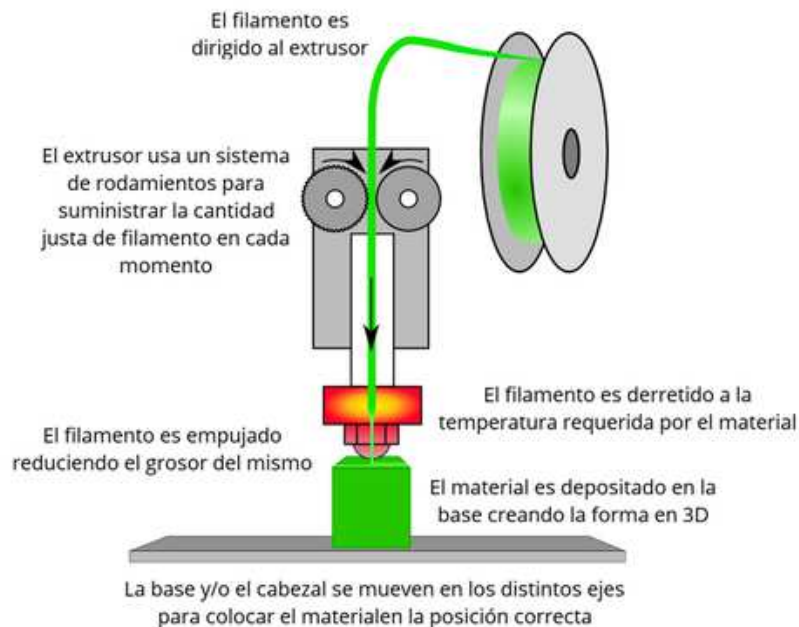
Con la implementación de las nuevas tendencias de innovación se busca dar lugar a un cambio positivo en los sistemas de producción, con el uso de la Inteligencia artificial y la robótica, que son las que han empezado esta revolución. Existen actualmente diversas tecnologías, como las comunicaciones inalámbricas (Wifi), pero las principales que ya se están viendo implementadas en la industria son:

- a) La manufactura aditiva,
- b) El internet de las cosas,
- c) Robótica de nueva generación,
- d) Plásticos termoestables-reciclables.

### II.1 a) Manufactura aditiva

La **manufactura aditiva** (Fig.2), nombre oficial usado en la industria de manufactura, donde el concepto fue registrado en la norma ASTM F2792,<sup>8</sup> donde se incluyen términos, definiciones y descripciones de términos, nomenclatura y acrónimos que tengan que ver con tecnologías de fabricación de aditivos, con el propósito de establecer un estándar en

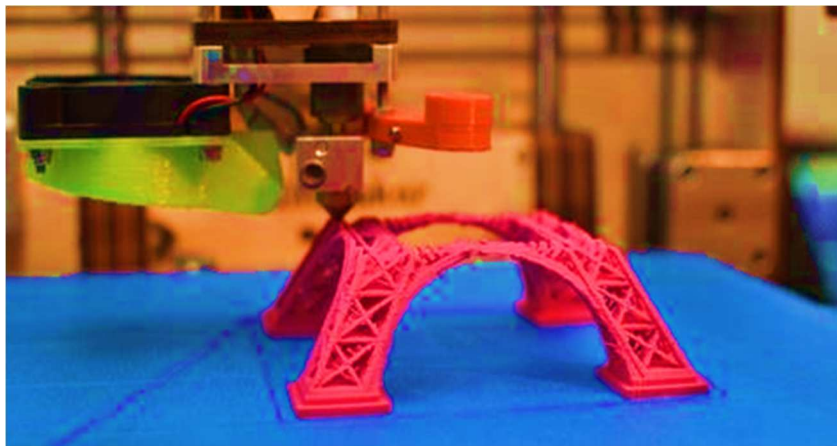
los términos utilizados por productores, investigadores, educadores, entre otros. También suele ser llamada **impresión 3D**.



**Figura II.2. Representación esquemática de la Manufactura aditiva**

La **impresión 3D** (Fig.3), o **manufactura aditiva**, es un conjunto de tecnologías de fabricación que, partiendo de un modelo digital, permiten manipular de manera automática distintos materiales y agregándolos capa por capa de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones. A diferencia de la manufactura sustractiva donde el material se

corta. Algunos sinónimos utilizados para referirse a la **impresión 3D** son, fabricación aditiva, procesos aditivos, manufactura por capas o layers ó fabricación de forma libre.<sup>9, 10</sup>



*Figura II.3. Impresión 3D de una pieza*

La historia de la **impresión 3D** comienza, en 1984 donde Charles Hull inició la experimentación con resinas líquidas que se solidificaban al verse expuestas a la luz ultravioleta (UV), por lo que descubrió que el haz de luz, podía solidificar solo ciertas partes de la resina que se adicionaba al controlar el movimiento de éste por medio de una computadora, formando así películas que asemejaban en la parte sólida de la que se formaba la figura tridimensional, un corte transversal, llamando a este proceso estereolitografía.

### **II.1.1. Principales tecnologías**

Actualmente, existe una diversidad de tecnologías de fabricación aditiva que están disponibles. Estas se diferencian en la forma en que se colocan las capas para crear las piezas y en los materiales que pueden ser utilizados. Algunos métodos funden o reblandecen el material para producir las capas, como por ejemplo, la sinterización selectiva por láser (Selective laser sintering: SLS) utilizando principalmente policarbonato, nylon, ABS, poliestireno; y otros no poliméricos, como metales y cerámicos.<sup>11,12</sup> y en el modelado por deposición fundida (Fused deposition modeling: FDM), predomina el uso de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PLA (ácido poli-láctico); mientras que otros utilizan materiales líquidos mediante diferentes tecnologías complejas, como por ejemplo, la estereolitografía (Stereo lithography apparatus: SLA). El método de manufactura de objeto

por laminado (Laminated object manufacturing: LOM), consta de capas finas que se cortan a la forma y se unen entre sí.

Las principales consideraciones para la elección de una máquina son, generalmente, velocidad, costo de la **impresora 3D**, costo del prototipo impreso, la selección y el costo de los materiales y la capacidad de utilizar diferentes colores.<sup>13,14</sup>

*Tabla. 1. Ejemplos de las principales tecnologías aditivas*<sup>15</sup>

Tipo	Tecnologías	Materiales
<b>Extrusión</b>	Modelado por disposición fundida (FDM).	Termoplásticos, Aleaciones eutécticas de metales, Productos Comestibles.
<b>Granular</b>	Sinterizado láser directo de metal (LMD)	Casi cualquier aleación de Metal.
	Fusión por haz de electrones (EBM).	Aleaciones de Titanio
	Sinterización selectiva por calor (SHS).	Termoplásticos en polvo
	Sinterización selectiva por láser (SLS).	Termoplásticos, Metales en polvo, Polvos cerámicos
	Impresión 3D con cabezal de inyección de tinta sobre lecho en polvo.	Yeso
<b>Laminado</b>	Fabricación objeto laminado (LOM).	Papel, Hoja metálica, película plástica.
<b>Foto-polimerizado</b>	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Procesamiento digital de luz (DLP).	Resina líquida



*Figura. II.4. Funcionamiento de una impresora 3D*



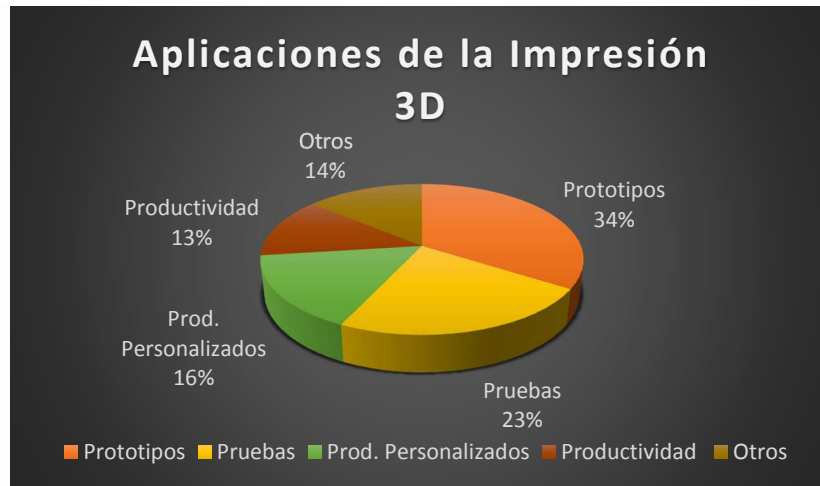
Es un nuevo concepto de producción a través del cual el material es depositado capa a capa de manera controlada donde se necesite para dar forma a la pieza; con esta técnica, se producen formas geométricas personalizadas por medio de un material, líquido o en polvo con el cual se construye una forma tridimensional usando un modelo digital.

Este procedimiento inicialmente nació para la fabricación de prototipos y hoy en día constituye un sistema fundamental para la evaluación de nuevos diseños. Ahora esta tecnología ha avanzado y es utilizada en la producción de piezas en serie (tirajes pequeños) a través de métodos que añaden material poco a poco, dejando atrás a los métodos convencionales de producción donde, en ocasiones, al final del proceso se le debe retirar el material sobrante.

Cabe mencionar que la manufactura aditiva no se limita al producto en sí, sino que también se puede ver aplicada a las herramientas utilizadas en producción. Y es ahí donde, actualmente, se están presentando las mayores aplicaciones en la industria plástica: principalmente, en la fabricación de insertos o herramentales, bien sea en acero o en resina, que puedan utilizarse dentro del molde para hacer, por ejemplo, canales de enfriamiento complejos, o ser utilizados en corridas cortas.<sup>16</sup>

Según encuestas realizadas por la empresa Sculpteo creada en 2009 por Eric Carreel y Clément Moreau líder mundial de la producción digital, la cual ofrece servicios profesionales en línea de impresión en 3D de corte láser de alta calidad, propone la producción bajo pedido de prototipos, productos individuales y pequeñas series; menciona que según las tendencias actuales, es decir en el año 2017, la tecnología de impresión 3D se utiliza principalmente para la creación de prototipos (34%), implementación de las piezas para prueba, (23%) productos personalizados (16%), incrementar la productividad (13%), y por último otros usos que se le ha dado como el acelerar el desarrollo de productos (14%), por lo que se dice que el prototipado sigue siendo uno de los principales usos. (Fig.5)

Esto significa que todavía no se utiliza la **impresión 3D** para producir y fabricar productos, a mayor escala, sino principalmente para investigación y desarrollo.



*Figura II. 5. Principales aplicaciones de la Impresión 3D*

## II.1.2. Ventajas y Limitaciones

### Ventajas

- Se optimiza y economiza el uso de materia prima.
- El costo no aumenta de acuerdo con la complejidad de la pieza.
- Se tiene un mayor control de la estructura de la pieza.
- Se cuenta con la posibilidad de realizar objetos de alta complejidad y totalmente personalizados.
- Cambio en el modelo de negocio: ANTES: Idea → Dinero → Producción y AHORA: Idea → Producción → Dinero.<sup>17,-18</sup>
- Aceleración de los ciclos de desarrollo de producto: aparte de hacer prototipos de manera rápida, otras de las ventajas es que puede haber un lanzamiento de productos de prueba para ver cómo los acoge el consumidor, o la construcción más rápida de las herramientas, como lo es un molde para hacer un producto de manera más rápida, sin que implique mayor inversión.
- Volatilización de las cadenas de valor: ¿por qué distribuir si se puede enviar un archivo digital e imprimir la pieza o el producto en su destino?, llevando la manufactura más cerca del consumidor, lo que retribuye en menor uso de transporte para los productos terminados y por ende habrá una reducción considerable en los costos de logística.

- La reducción de costos que representa la impresión 3D reduce las barreras de entrada a nuevos competidores con pequeños volúmenes.
- La manufactura aditiva permite trabajar bajo pedido, lo que quiere decir esto es que no se manejan stocks, lo que implica un abastecimiento más eficiente y con menos riesgo. ¿Por qué para que tener piezas almacenadas en stock si se pueden imprimir cuando se necesiten?, lo que influirá financieramente a beneficio de la empresa.
- Aportación a la sostenibilidad medioambiental: en este proceso existe un aprovechamiento total de los materiales utilizados lo que contribuye a la formación de una economía circular, además, al tratarse de fabricar solo aquello que se necesita y no grandes series de producción; se puede decir que, en el proceso, se utilizan los recursos estrictamente necesarios.
- Fabricación totalmente personalizada.<sup>19</sup>

### Limitaciones

- Una gran desventaja es que actualmente esta tecnología tiene un alto costo, aunque se espera que en un futuro esto cambie ya que las nuevas tecnologías, a medida que pasa el tiempo suelen bajar de costo al volverse obsoletos dentro del mercado.
- No es posible realizar una producción en serie.
- Hasta la fecha se requiere de mucho tiempo para la impresión de una sola pieza impresa.
- Uno de sus principales usos es el prototipado.
- Muchas de las empresas se verán perjudicadas, al ir desapareciendo y ser sustituidas por las de mayor competencia.

### II.1.3. Aplicaciones

Esta técnica tiene la posibilidad de crear una gran variedad de piezas (Fig. 6), entre las que se incluyen componentes de motor, piezas para aviones, dispositivos médicos o implantes quirúrgicos. También puede ser empleada para fabricar componentes útiles para los moldes que puedan mejorar el proceso de moldeo, por ejemplo, los canales de enfriamiento ya que pueden ser fabricados para adaptarse a la forma de la superficie del molde.<sup>20</sup>



*Figura II.6. Diversas aplicaciones de la manufactura aditiva/impresión 3D*

Un campo en crecimiento para la manufactura aditiva es el área médica (Fig.7) ya que a pesar de que está siendo utilizada, desde hace tiempo, en piezas dentales se ha comenzado a experimentar con tejidos humanos, utilizando estos como material imprimible en 3D, para que, de esta forma, se pueda garantizar la compatibilidad con el paciente.<sup>21,22</sup>



*Figura II.7. Aplicaciones 3D, área médica*

La precisión de la manufactura aditiva es la misma que si se inyectara una pieza, pero se presenta una desventaja ya que la pieza impresa tiene una menor resistencia que si fuera inyectada.<sup>23</sup>

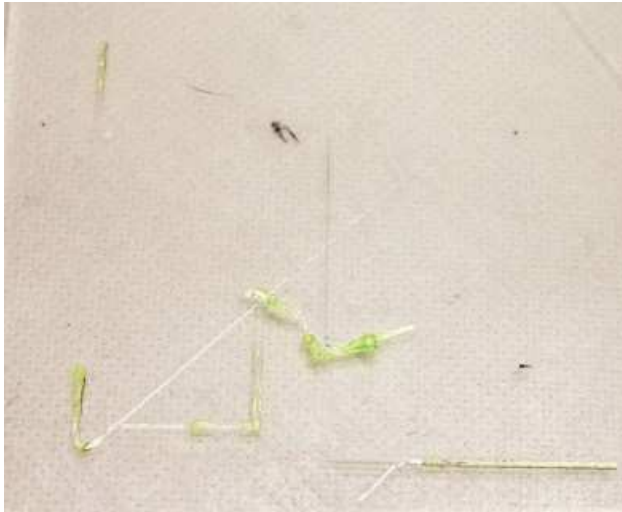


**Figura II.8. Detalle de una pieza impresa en 3D.**

Esta disminución que se observa en las propiedades de la pieza ocurre, básicamente, porque el material se lleva a una temperatura de fusión o reblandecimiento que permite extruir y depositar una capa sobre otra; sin embargo, se generan un conjunto de líneas de soldadura entre las capas que constituyen la pieza, como se puede apreciar en la Figura II.8.

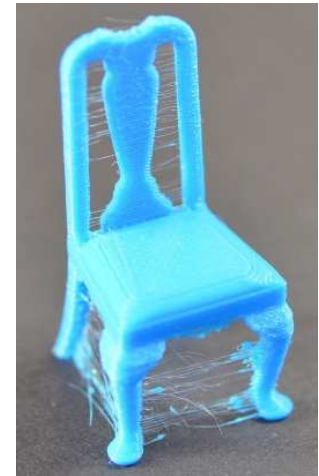
Como en todo proceso de transformación de plásticos, la manufactura aditiva no es la excepción ya que en esta también existen problemas que surgen a la hora de que la pieza está siendo formada por medio de la impresora.

II.1.4. Algunos ejemplos de las fallas que se pueden presentar durante el proceso de impresión 3D, son los siguientes:



*Figura II.9. Extrusión de Plástico insuficiente.*

- El extrusor no extruye el plástico suficiente al comenzar a imprimir la pieza (Fig.9); esto se debe a que el reposo, antes de comenzar la impresión, causa que el polímero se retraiga en la boquilla, provocando que durante los primeros segundos no fluya el material.



*Figura II.10. Hilos*

- Hilos (Fig.10). El cabezal deja restos de hilos de plástico en sentido horizontal, esto sucede cuando el plástico es retraído en los movimientos hechos por el cabezal cuando no imprime.



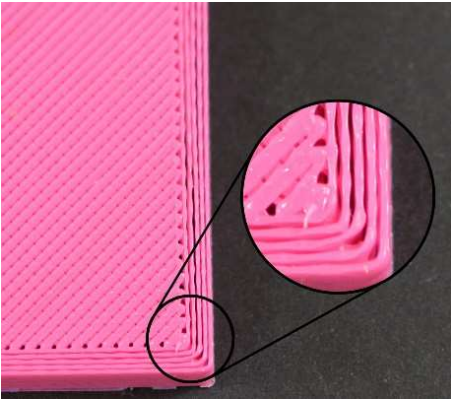
*Figura II.11. Temperatura de extrusión muy alta.*

- Temperatura de extrusión demasiado alta (Fig.11). Si la temperatura es demasiado alta, el material dentro de la boquilla, fluye demasiado y sale sin que el extrusor esté funcionando.

- Desplazamiento de capas (Fig.12): esto ocurre, durante la impresión, cuando se desplaza alguna de las capas de material en los ejes “x, y”.



**Figura II.12. Desplazamiento de Capas**



- Insuficiente extrusión de material (Fig. II.13.): debido a que no existe un control sobre cuanto material se extruye, realmente, de la boquilla; hay casos en los que la salida de material es menor a la que el software espera, lo cual genera espacios entre las capas del material.<sup>24,25,26</sup>

**Figura II.13. Insuficiente extrusión de plástico**

Cabe mencionar que la manufactura aditiva aún no es vista como una opción para la producción pues el número de usuarios, aunque va en aumento, es pequeño todavía; por lo tanto, se espera que con el tiempo las maquinarias para manufactura aditiva sean más rápidas para producir en serie y pueda realizarse el procesamiento de diversos materiales que todavía no han sido utilizados. Sin embargo, lo que realmente está impulsando el desarrollo de la manufactura aditiva es la manera en la que los diseñadores se involucran a la hora de implementarlo para obtener la pieza con todas las libertades creativas.<sup>27</sup>

## II.2. b) Internet de las Cosas (IoT)

En segundo lugar, podemos mencionar el **Internet de las Cosas**, también conocido por sus siglas en inglés “Internet of Things” (**IoT**)

Este consiste en “la implementación dirigida hacia el desarrollo y despliegue de dispositivos inteligentes”, lo que lleva a la introducción de nuevos conceptos como lo son “el internet de las cosas (**IoT**) o el internet industrial de las cosas (**IIoT**)”, concepto propuesto en 1999 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el cual se dice será “un concentrador de desarrollo, eficiencia energética y la modernización de las actuales técnicas de manufactura.”<sup>28</sup> Ese grupo trabajó en la Identificación por Radiofrecuencia en Red (RFID) y en tecnologías de detección emergentes. Los laboratorios se ubicaban en siete universidades de investigación situadas en cuatro continentes.<sup>29</sup>

En las diferentes partes del proceso productivo, se pretende estar adecuando funciones inteligentes que anteriormente no eran utilizadas por los operarios, por lo que estarán comunicándose automática y autónomamente entre ellas mediante la conexión de los objetos (**IoT**).

Se considera que el **IoT** es o será el momento en el que más "cosas u objetos" están conectados a internet en lugar de personas. El **IoT** se refiere al uso de tecnología de sensores, y comunicaciones de datos integrados en objetos físicos.

Hay tres etapas de las que se pueden partir para que exista una aplicación adecuada del **IoT**:

- 1) Capturar datos del objeto.
- 2) Acumular información a través de una red de datos.
- 3) Actuar sobre esa información (recaudar datos y mejoras al proceso de diseño).<sup>30</sup>

Al día de hoy las tecnologías y la gestión del conocimiento ya están dentro de los sistemas de producción. En la **Industria 4.0** todos los sistemas de producción estarán conectados; así como, todos los subsistemas que constituyen el proceso, es decir, todos los objetos (tanto internos como externos) que intervengan, como lo son los proveedores, las redes de clientes y los canales de distribución. Los sistemas informáticos deberán conectarse directamente con los dispositivos robóticos. Con el fin de que todo sea controlado en tiempo real. La



conectividad entre todos estos puntos será la clave del éxito. El uso de estas tecnologías hará posible reemplazar de manera flexible las máquinas cuando requieran algún tipo de reparación o mejora, mientras se esté en producción.

La **Industria 4.0** representa la integración de extremo a extremo de la cadena de valor que va desde los cambios en las demandas del público hasta el logro de su satisfacción mediante la implementación de las nuevas tecnologías.<sup>31</sup>

En una empresa, el **IoT** puede cambiar el modelo de negocio con el que cuenta la compañía al consentir ofrecer nuevos servicios junto con sus productos. En otros casos, ayuda a mejorar los servicios ya existentes en la empresa, como pudiera ser el mantenimiento predictivo. “En 2020 se espera que 50 mil millones de cosas o dispositivos estén conectados de forma autónoma. Esto mejorará el sector público, la distribución y servicios, la producción y recursos, así como las tasas de crecimiento del segmento de consumidores.”<sup>323334</sup>

Por otra parte, los beneficios viables de los dispositivos portátiles son muy diversos, pues permiten maneras fáciles y rápidas de acceso a la información, son multipropósito, rastrean y monitorean información, etc. En cuanto a la población laboral, estos dispositivos tecnológicos pueden ser utilizados como agentes de formación o simplemente para la comunicación en tiempo real. En cambio, en otros sectores, como pequeñas empresas pueden mejorar el servicio al cliente agilizando la compra. Mientras que en la industria manufacturera permiten acelerar la producción mediante la creación de nuevas herramientas.<sup>35</sup>

Según Peter Solmssen: "La sostenibilidad es una cuestión de supervivencia. Significa agua y aire limpios, pero también significa tener un sistema económico que funcione para todos. Significa tener ciudadanos responsables, tanto en el ramo corporativo como en lo individual"<sup>36</sup>

Es una iniciativa que se enfoca en la mejora de producción, pues al haber conexión de máquinas, sistemas, y relación entre cliente- fabricante, durante el proceso de fabricación se crea una comunicación integral del negocio dando así la oportunidad de que el funcionamiento de los equipos sea óptimo.

De acuerdo con el Dr. Krzysztof Bledowski, "la **Industria 4.0**, cuarta revolución industrial, describe, en general, una cadena de producción descentralizada que se considera desde el diseño hasta el final por medio del servicio de la cadena de suministro, fabricación, distribución y atención al cliente. El **IoT** comprende los mismos procesos, pero sus posibilidades se extienden más allá de la fabricación. Sin embargo, la esencia de ambos conceptos es que las máquinas, procesos, análisis y las personas estén conectadas".<sup>2</sup> Lo cual resulta cierto pues al implementar el internet de las cosas se da pie a la creación de una red entre los objetos, aparatos y dispositivos formando una relación que conducirá a la organización o empresa a una nueva cadena de valor.

“Cisco, fabricante global de equipos de telecomunicaciones, replanteó el **IoT** al término Internet of Everything o Internet de Todas las Cosas, definiéndolo como la unión de personas, procesos, datos y cosas para hacer conexiones en red más relevantes y valiosas, convirtiendo la información en acciones que crean nuevas capacidades, experiencias más enriquecedoras y oportunidades económicas importantes para compañías, individuos y países.”

Pensar en el sector plástico y sus procesos de fabricación a futuro, es necesario tener presente el Internet de las Cosas o Internet of Things (IoT, por sus siglas en inglés), ya que es un tema relevante que actualmente está tomando impulso y, próximamente será foco de desarrollo, eficiencia energética y superación de las actuales técnicas de manufactura.

### **II.2.1. En las industrias de proceso y las empresas el IoT tiene diversas perspectivas:**

1. Se busca un control autónomo, para dar respuesta a fallas según el proceso lo requiera; para mejorar la calidad en la salida de productos; eliminar las variaciones presentes en el proceso mientras se reducen los desperdicios y desechos para así aumentar la productividad. Básicamente, esto podría hacerse por ejemplo al adaptar algún proceso de calentamiento para variar los tiempos de secado y, así variar el porcentaje de humedad en las materias primas que se utilizaran.
2. Aumentar la capacidad que tiene la empresa para monitorear los productos de mayor demanda, para evitar fallas de gran magnitud; poder implementar un tiempo definido para el mantenimiento preventivo haciéndolo más preciso y, así aumentar la vida útil

de la maquinaria y, por tanto, aumentar el rendimiento de la inversión realizada. Por ejemplo, una bomba que pueda controlar las presiones y las temperaturas.

El estado de los procesos de producción en la planta debe ser integrado al nivel de la planta superior para generar máxima transparencia. Se busca que el estado del proceso, en la planta, sea monitoreado; de tal manera que, el desempeño de la línea de producción y los problemas que se llegasen a presentar sean identificados y apoyados rápidamente al tener implementado este tipo de red tecnológica.

Al implementarse esta innovación en la empresa se busca comprender completamente el flujo de información de una manera consistente para evitar problemas de colaboración, transparencia, reacción lenta a problemas y, por tanto, mejorar el rendimiento en la línea de producción. Cabe mencionar que es importante tomar en cuenta tanto el nivel técnico de capacitación del factor humano, como la integración y la evaluación económica de esfuerzos y beneficios.

A escala industrial, el **IoT** da la capacidad de crear máquinas de manufactura totalmente inteligentes que permite controlar y automatizar los procesos para que cada vez se utilicen menos operarios, ya que se optimiza el proceso y la mano de obra.

“En definitiva, el **IoT** ayudará a la optimización de procesos u operaciones en empresas, negocios, ciudades y hogares, simplificando la vida diaria de las personas”.<sup>37</sup>

De acuerdo con un estudio realizado por GE (General Electric), son tres los conceptos a tener en cuenta para el Internet Industrial:

- 1) Máquinas inteligentes como nuevas formas de conectar y mejorar procesos por medio de sensores avanzados, controles, redes y aplicaciones de software;
- 2) Análisis avanzados basados en automatización, física, administración, etc., para comprender la operación de grandes sistemas y empresas.
- 3) Gente en el trabajo, conectando a las personas al sector industrial en cualquier momento, sea desde oficinas, empresas o en movimiento con el fin de apoyar en todo instante operaciones, servicios, seguridad o mantenimientos.”<sup>38</sup>

### II.3 c) Robótica de nueva generación

Una de las grandes ventajas que ofrece el moldeo por inyección, ha sido su capacidad de automatización, lo cual ha permitido lograr las altas velocidades de producción que le caracterizan. Unos de los primeros pasos en estos procesos de automatización ha sido la instalación de brazos robóticos para retirar piezas del molde, la separación de pieza y colada; así como, la colocación de insertos, entre otros. En este sentido, la Industria 4.0 tiene como una de sus grandes tendencias lo que se conoce como robótica de nueva generación

La **robótica de nueva generación** consiste de sistemas automatizados de alta complejidad que presentan una estructura mecánica la cual busca que trabaje, en conjunto, el ser humano y la máquina para realizar actividades de alta complejidad; de mayor fatiga para los operarios; que sean realizadas durante tiempos prolongados o, simplemente repetitivos o peligrosos.

Lo que se pretende con esto es la tan sonada frase "de la mano con los seres humanos" pues los nuevos robots llamados "robots de colaboración" (co-bots) son conocidos por su capacidad para trabajar, de forma segura, en conjunto con los seres humanos sin necesidad de protección extra.

En el caso de los procesos de transformación de polímeros considerando el nivel de competitividad presente en el mercado, la necesidad de incrementar la calidad en los productos demandados por el cliente y los costos que éstos tendrán; los robots ofrecen mayor eficiencia en el proceso, un control consistente de una serie de variables como la fuerza, el desplazamiento, el calentamiento, el enfriamiento, el tiempo, tolerancia en dimensiones, entre otras, lo que facilita la producción a muy altas velocidades y con mayor precisión o, simplemente, realizar labores que serían imposibles para los seres humanos, logrando como resultado, tanto la seguridad de los trabajadores como la reducción de costos en el producto.<sup>39</sup>

Hoy en día, la robótica está siendo implementada para reemplazar las tareas repetitivas que realizan los seres humanos, pero también con el fin de permitir a los empleados, en las fábricas, enfocarse en tareas de mayor valor agregado; como lo son, el control de procesos y de calidad en el producto.<sup>40</sup>

También existen otro tipo de robots llamados “de brazo articulado” que cuentan con mayor velocidad y precisión haciéndolos más competentes, aunque de mayor costo; mientras que “los modelos de colaboración” (Cobots) se destacan por ser de menor costo y de fácil programación por parte de personal, –por lo que son más utilizados en el mercado por la capacidad que tienen para realizar operaciones repetitivas como, recoger, apilar, reubicar y hasta empaclar el producto.<sup>41</sup>

Como el proceso de inyección es uno de los procesos, para la transformación de plásticos, más versátiles y más demandantes es donde se ha presentado, principalmente, el uso de los robots para eficientizar este proceso; algunos de los robots que están siendo utilizados son: El Robot Cartesiano de tres ejes también conocido como “robot de tipo pórtico”, debiendo su nombre al filósofo y matemático René Descartes; éste es usado para automatizar las inyectoras, respondiendo a necesidades específicas en el proceso, pues cuentan con un eje z vertical que le permite acceder al espacio entre las dos mitades del molde, un eje x definido como horizontal, que va desde la zona que se encuentra encima del molde hasta un punto fuera de la máquina y finalmente el eje y que mueve el brazo vertical en línea con la máquina para extraer las piezas del molde. Este tipo de robot es utilizado para extraer las piezas de la máquina en un ciclo de producción que sea repetitivo y de alta velocidad.<sup>42</sup>

También existen los robots cartesianos de cinco ejes servo-accionados que tienen mayor velocidad de entrada para tiempos de ciclo más cortos; así como, la flexibilidad dentro y fuera del molde de un robot de brazo articulado. Por lo tanto, los robots de cinco ejes pueden realizar tareas de manipulación más complejas.<sup>43</sup>

Algunos ejemplos de robots de tipo cartesiano que están siendo utilizados, en plantas donde se realizan procesos de transformación de plásticos son:

### II.3.1. Alfa Robot (Fig. II.14.)



*Figura II.14*

Equipado con una pantalla de diálogo táctil, de fácil manejo y operatividad, incorporada con un puerto USB para permitir la carga y descarga de datos desde una PC.

De esta forma, se consiguen mejorar las capacidades y se facilita el manejo del robot, agilizando la programación y la variación de cualquier parámetro durante su operación.

### II.3.2. Apex SC. (Fig. II.15)

Consta de un generador de velocidad para el movimiento del robot, fácilmente y de forma segura, al punto asignado; cuenta con un sistema de autodiagnóstico para el reconocimiento continuo del estado del robot. La velocidad de todos los ejes se puede regular mediante porcentajes y va equipado con 3 ejes interpolados que se pueden sincronizar para asignar varios puntos a la vez. Este permite la extracción de piezas, apilamiento y selección, inserción-suministro e inspección de las piezas, ya que consta de un programa de rechazo, un programa de calidad, programa de Test-Mold, un programa de peso y un contador de ciclos.



*Figura II.15*

### II.3.3. Robot SDR Demag (Fig. II.16)

Utilizado para automatizar el proceso de fabricación de piezas inyectadas, está equipado con el sistema de control visual que simplifica la automatización de tareas complejas, como sobre-moldeo, etiquetado en el molde o integración de controles de calidad. Los programas del robot se pueden guardar en una unidad flash USB y, por lo tanto, se pueden transferir a otros dispositivos.



*Figura II.16*

### II.3.4. Wemo (Fig. II.17)

Existen dos tipos de modelos: 4-5 SRP para la extracción de pieza y el 4-5 SRS para la extracción de coladas y bebederos.

Equipado con tres ejes, diseñado para la extracción de piezas de una manera silenciosa; puede manejar las coladas o los bebederos para colocarlos en un molino, le es posible reducir hasta el 50% del tiempo de extracción en comparación con los de accionamiento neumático. Cuentan con un motor servo que permite dos movimientos simultáneos, permitiendo movimientos más eficaces y tiempos rápidos de extracción. En este tipo de accionamiento servo los costos de operación son significativamente más bajos, con un tiempo de vida del equipo más largo, casi el doble que los que cuentan con accionamiento neumático.<sup>44</sup>



*Figura II.17*

### II.3.5. MH5 (Fig. II.18)

Es un robot compacto de 6 ejes y alta velocidad que ofrece alto rendimiento en aplicaciones como el embalaje, la manipulación de piezas, la carga y descarga de máquina, el retiro de la colada y el sellado.

El robot MH5 soporta una carga útil en la muñeca de 5 kg. Su diseño compacto ofrece un máximo rendimiento utilizando el mínimo espacio.<sup>4546</sup>



*Figura II.18*

### II.3.6. SR Mate 200Ia (Fig. II.19.)

El SR Mate 200iA de Fanuc, robot modular equipado con servo accionamientos eléctricos, desarrollado para el manejo de máquinas de moldeo por inyección y la manipulación de materiales. Es valorado por su precisión, su funcionamiento a alta velocidad, fácil instalación y alta fiabilidad. extraordinaria destreza con seis ejes de movimiento permite no sólo la extracción, sino también operaciones “más allá” que aportan valor añadido, tales como retirar la rebaba, pulido, etiquetado y embalaje.



*Figura II.19*



La nueva robótica que se ha estado implementando en el procesamiento de los polímeros ofrece el control de variables como: la fuerza, el desplazamiento, el calentamiento, el tiempo, la tolerancia en dimensiones, entre otras, lo que facilita la producción a velocidades altas con mayor precisión, haciendo actividades que le serían imposibles de realizar al ser humano.

### II.3.7. Cobots

Los Cobots (Fig. II.20<sup>47</sup>) son robots caracterizados por su colaboración con los humanos, teniendo plena interacción con ellos en un proceso de producción, haciéndolo más eficiente.



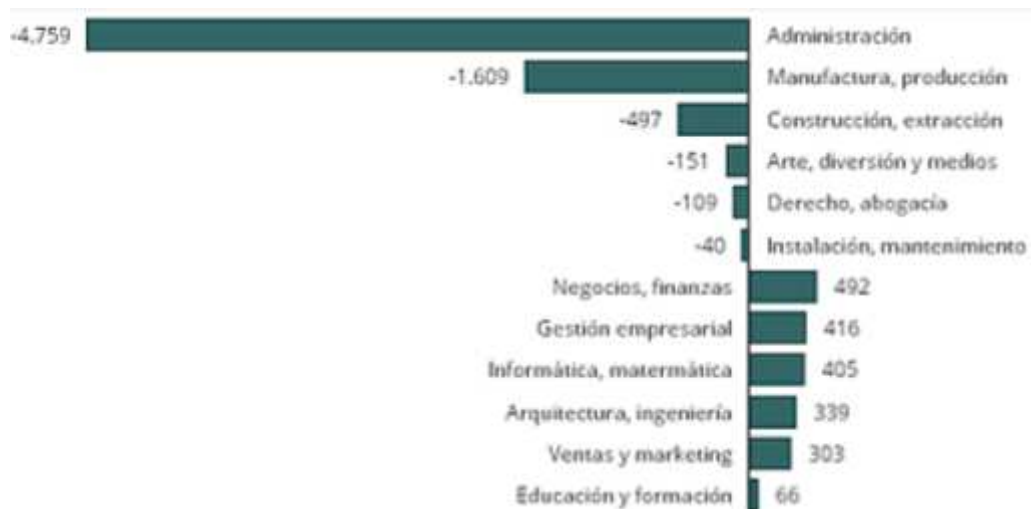
*Figura II.20 Cobots*

En busca de lograr la automatización por medio del uso de la inteligencia artificial recientemente se desarrolló un algoritmo que permita a los robots aprender por si mismos y realizar actividades complejas.

Haciéndose así cargo de algunas actividades que hasta hoy se encuentran reservadas para el humano; se pretende que para tener un buen nivel de competitividad es necesario que, poco a poco, se vaya adoptando esta forma de optimizar el trabajo para afrontar la entrada de la **industria 4.0**.

Debido a que ya se está viviendo un proceso de automatización en la que los robots están siendo utilizados para la ejecución de tareas muy específicas, se está generando preocupación en el mundo laboral, ya que estos podrían llegar a ocupar los puestos de trabajo de las personas.

El aumento en la robotización, hoy en día, con la adopción de la **revolución 4.0**, ha impactado directamente en la desaparición de puestos de trabajo con tareas repetitivas que pueden ser desempeñadas por un robot; aunque pudiera parecer negativo resulta en un impacto totalmente positivo en el entorno social y empresarial, ya que da lugar a nuevos empleos en los que se necesite gente con una mayor preparación que proporcione mantenimiento a los robots y sepa como analizar los datos que estos generen para así lograr, la tan mencionada interconexión dentro de la empresa.



**Figura II.21. El Futuro del empleo a escala mundial.**



*Figura II.22. Cobots*

Los cobots se caracterizan por ser fácil de adquirir, son ligeros, flexibles y fáciles de instalar. Al estar diseñados para interactuar con humanos en un espacio de trabajo, se genera un ambiente de seguridad entre ambos. Los cobots ofrecen mayor posibilidad de automatización en los procesos de producción a comparación de los robots habituales

debido a que estos son de mayor costo de instalación, el mantenimiento que requieren y el espacio que estos ocupan.

La robótica colaborativa, por tanto, representa una nueva era en la automatización de procesos industriales y es también uno de los pilares de la **Industria 4.0**. Junto con el Big Data, el **IoT** (internet de las cosas) y la **impresión en 3D**; los cobots ayudan a dar paso a las fábricas ‘inteligentes’ y conectadas, en las que una o más de estas tecnologías revolucionarias están integradas en los sistemas de producción, con el único objetivo de optimizar la productividad y la competitividad de la empresa; mientras que, al mismo tiempo, bajan los costos operativos y, por tanto, se reducen costos de producción.<sup>48</sup>

### II.3.8. Sustentabilidad

El reciclaje es una estrategia de gestión de los residuos sólidos. Un método para la gestión de los residuos sólidos tal como el vertido o la incineración, pero, ambientalmente, más amigable y deseable. [12]. Es el proceso mediante el cual se aprovechan los residuos para la obtención de nuevos productos. Mediante el reciclaje se protege el ambiente porque:

- Se preservan los recursos naturales.
- Se evitan focos de contaminación.
- Las industrias ahorran energía y reducen costos de producción minimizando sus residuos.
- Los municipios abaratan sus costos de recolección, transporte y disposición final de la basura.
- Se alarga la vida útil de los rellenos sanitarios.

- Se genera empleo.

Existen diferentes estrategias de reciclado y se les clasifica según sea la fuente de donde proceden los materiales/residuos sólidos que serán reciclados. El reciclado primario o reprocesado; consiste en reutilizar coladas o productos que no cumplen los estándares de calidad, por medio de su molienda y reincorporación al proceso en cierta proporción establecida, cuidando que la pieza fabricada no pierda las propiedades críticas para su aplicación. Esto generalmente lo realizan empresas de transformación de plásticos que utilizan polímeros termoplásticos, los cuáles pueden ser reblandecidos o fundidos cada vez que se les aplica calor.

Reciclado secundario /terciario: Los residuos son introducidos en el ciclo de producción y consumo, generalmente, en aplicaciones secundarias. En este caso los materiales que se utilizan en este reproceso deberán ser, una materia prima viable para el proceso y que se encuentre limpia a la hora del reciclado. Esta materia se procesa para convertirlo en un producto comercial. Este tipo de producto deberá comercializarse y distribuirse.

Para llevar a cabo este tipo de reciclado se requieren las siguientes cuatro etapas [12]:

- 1.- Recolección.
- 2.- Selección/Clasificación de materiales.
- 3.- Recuperación de materiales para fabricar el producto.
- 4.- Mercados y clientes que demanden el producto.

#### II.4 d) Plásticos termoestables reciclables.

El desarrollo de la Industria 4.0 promueve de manera importante los negocios sostenibles/sustentables.

Son modelos empresariales que generan efectos positivos o reducen los impactos negativos para el medio ambiente o la sociedad<sup>49</sup> y que incluso contribuyen a resolver los problemas ambientales o sociales que se presentan al tener una línea de producción activa.<sup>50</sup>

Los modelos de negocio sostenibles se caracterizan por la competitividad. Dando lugar a, la venta, la funcionalidad y la accesibilidad de los productos, contribuyendo a resolver un problema ambiental o social<sup>(2)</sup>.

La interconexión que se crea en la Industria 4.0 brinda oportunidad de realizar ciclos de vida de los productos, en circuito cerrado o simbiosis lo que permite la coordinación eficiente del producto, material, energía y agua.

La simbiosis a nivel industrial describe el concepto inter-empresa, es decir la cooperación de diferentes fábricas para lograr un bien común, mediante el comercio, el cambio de productos, materiales, energía, agua<sup>51</sup> y datos.

El equipo de producción en las fábricas también suele ser uno de los factores que influyen notablemente a la sustentabilidad, pues el reequipamiento permite a la empresa adquirir maquinaria de alta tecnología lo que contribuye a la sustentabilidad ambiental.

Para desarrollar la **Industria 4.0**, se pueden implementar tres enfoques sustentables:

- (1) Aumentar la eficiencia mediante la combinación de nuevas tecnologías.
- (2) Aumentar la creatividad dando un nuevo enfoque a la organización y cambiando el diseño del trabajo.<sup>52</sup>
- (3) Aumentar la motivación por medio de incentivos individuales para el trabajador.

Debido a la alta demanda de materiales plásticos en el mercado mundial, se ha visto la necesidad de implementar un procedimiento sustentable que permita reciclar los plásticos termoestables ya que, como sabemos el entrecruzamiento de sus cadenas lo que hace que sean materiales con alta estabilidad dimensional, alta resistencia al calor y a la presión; por lo que son muy utilizados para ciertas aplicaciones. La presencia de entrecruzamientos

químicos hace que sea casi imposible reprocesarlos; por lo que pueden constituir así una fuente contaminante.<sup>53,54</sup>

Este tipo de material es usado para múltiples aplicaciones entre las que se encuentran, p. ej., los teléfonos móviles hasta para aplicaciones en la industria aeroespacial. Es por esto que hoy en día ha surgido la necesidad urgente de que estos plásticos puedan ser reciclables, teniendo como objetivo un ciclo de sustentabilidad desde el proceso hasta la reutilización o el desecho del producto después de su vida útil.<sup>55</sup>

El reciclaje de tales residuos de materiales termoestables resulta difícil debido a el origen de sus propiedades térmicas y estabilidad, que se producen a través de cambios químicos durante su procesamiento.

Debido a lo difícil que resulta reciclar los residuos generados por un polímero termoestable; ha habido avances en la química covalente, para tratar de proporcionar a los enlaces de entrecruzamiento presentes en el polímero, la manera de romperlos para que así se puedan reprocesar y/o reciclar estos materiales.

Estos avances pretenden que el reciclado se dé por medio de la adaptación de la red covalente con uniones capaces de romperse y reformarse, permitiendo al material, reprocesarse y reciclarse.<sup>56,57</sup>

Actualmente, se han investigado diversas tecnologías, que se pueden utilizar para el reciclaje de este tipo de polímeros, clasificados en dos categorías: reciclaje mecánico y termoquímico

El reciclaje mecánico implica la trituración mecánica del material, molienda u otro proceso mecánico similar. Esta técnica consiste en la reducción del material hasta tener pequeños fragmentos de entre 50-200 mm.<sup>58,59</sup>

Las piezas de desecho resultantes pueden ser separadas mediante tamizado, resultando en un material en polvo (rico en material termoestable) y productos fibrosos, en el caso de un material reforzado (rico en fibras)<sup>60</sup>. Este polvo puede incorporarse como relleno a diferentes tipos de matrices poliméricas, para diversas aplicaciones; p.ej. polvo de llantas para relleno de asfaltos.

Otro tipo de técnica de recuperación es el reciclado termoquímico en el cual se aplican diferentes técnicas (por ejemplo, pirólisis) O procesos químicos para romper la red de enlaces covalentes en la matriz termoestable.<sup>61</sup>

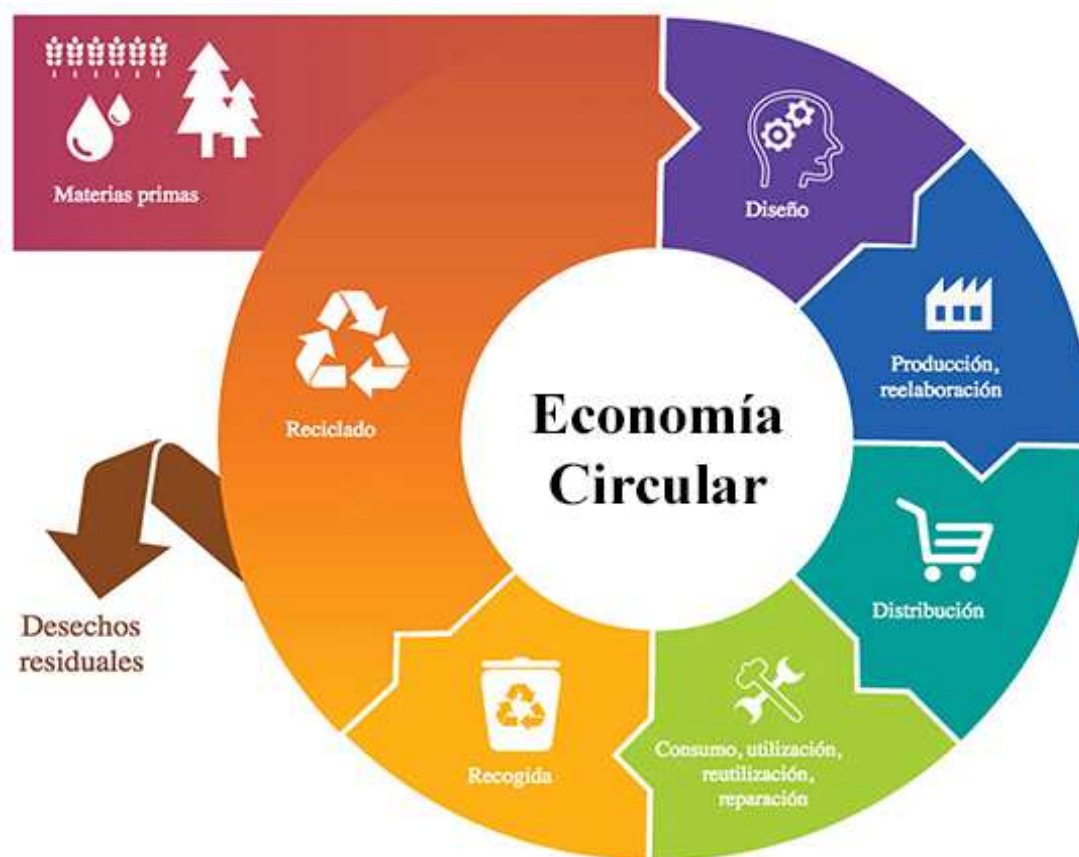
Youchun Zhang y et al. en 2016, han desarrollado un material polimérico térmicamente auto-reparable utilizando un método de procesamiento relativamente simple. Este sistema utiliza una secuencia de reacciones de Diels-Alder y Retro Diels-Alder para convertir las poliacetonas fácilmente en furanos. Se menciona que esta nueva técnica permitirá más adelante que los polímeros termoestables se puedan reciclar.<sup>62</sup>

Mientras que, en el 2014, hubo grandes avances según la revista *Science*, donde se dio a conocer el descubrimiento de nuevos tipos de polímeros termoestables reciclables. Llamados poli(hexahidrotiazina)s, o PHT; se menciona que estos plásticos pueden de-polimerizarse en presencia de un ácido fuerte, el cual se encarga de romper las cadenas del polímero en monómeros que pueden reutilizarse en nuevos productos.<sup>63</sup>

Kai Yu, y colaboradores<sup>64</sup>, reportan un método para reciclar un polímero reforzado con fibra de carbono a base de epoxi (CFRPs); este método se basa en la disolución y re-polimerización de los enlaces covalentes (CAN) de la resina epoxi en el disolvente etilenglicol, mediante la transesterificación a alta temperatura. La transesterificación consiste en el intercambio del grupo orgánico del éster con el grupo hidroxilo del alcohol; este tipo de reacción promueve el rompimiento de los enlaces covalentes en la resina epoxi, lo que permitiría la posibilidad de ser reciclada.

Cabe mencionar, que, aunque ningún método de reciclaje es 100% eficiente se busca implementar, cada vez más, este tipo de técnicas para dar pie a una economía circular, reduciendo los residuos generados por el plástico para dar paso a la economía sustentable que se busca con la revolución 4.0.<sup>65</sup>

Debido a que los residuos generados en cualquier proceso de producción pueden ser un problema y el reciclaje de estos ya no es suficiente para mantener la sustentabilidad que se demanda en una empresa, se creó este nuevo planteamiento que va más allá del reciclaje, llamado:



*Figura II.23. Economía Circular*

#### II.4.1. Economía Circular (Fig.II.23<sup>66</sup>)

Propone lograr un equilibrio en sustentabilidad que englobe el crecimiento económico, considerando las cuestiones ambientales y sociales que conlleva la producción de un nuevo producto.

Con esta nueva modalidad de producción se pretende que el producto a elaborar cuente con múltiples ciclos de producción y uso, lo que quiere decir que los recursos que se utilizaron en la creación del producto, una vez que se vuelvan residuos sean capaces de generar



nuevamente los recursos necesarios para volver a crear el producto; **“los recursos se conviertan en productos, los productos en residuos y los residuos, una vez reciclados, otra vez en recursos”**<sup>6768</sup>

Con esta nueva filosofía de producción se pretende seguir un modelo en el que no se generen residuos, pues todos los materiales y productos servirán para alimentar otro sistema y producir de nuevo un producto; debido a esto, la economía circular debe ser implementada desde los inicios, durante el diseño y conceptualización del producto hasta la fase de producción y el acabado del producto.

La economía circular trae consigo una serie de ventajas y beneficios no solo en el ámbito ecológico si no que, a su vez, la competitividad de la empresa se ve elevada, así como la rentabilidad<sup>69</sup>, pues al ser aprovechados los recursos, de una manera mucho más eficiente y no ser desperdiciados resulta esto en una ganancia económica.

Básicamente se trata de una gestión inteligente de residuos por medio de la implementación de nuevas tecnologías <sup>70</sup>que se encarguen de mejorar el proceso y así facilitar los modelos de producción, e impactar de una manera positiva al medio ambiente.<sup>71</sup>

### III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

La implementación de las nuevas tecnologías en las empresas de transformación de plásticos es un hecho, ya que son un elemento imprescindible para el buen funcionamiento de la empresa; proporcionando grandes beneficios al convertirlas en empresas más competitivas por medio, p.ej., de la digitalización y la automatización. Las nuevas alternativas disponibles para lograrlo no se han hecho esperar, se encuentran planteadas de una manera vanguardista para cubrir las demandas del mercado.

El ingeniero Jacob Prak, fundador de Michigan Manufacturing International (MMI), empresa especializada en suministros de ensamblajes y componentes plásticos para constructores automotrices, “considera que las tecnologías de la comunicación continuarán siendo el motor de la globalización en términos de know-how (saber cómo) y experticia en procesos de transformación plástica. Los procesos de transformación deben seguir con fidelidad y rapidez las tendencias del mercado debido a que, hoy en día, la demanda se desarrolla prácticamente de forma instantánea gracias a las redes sociales y otros medios de comunicación, por lo cual las líneas de producción y las líneas de suministro deben ser altamente flexibles para adaptarse de forma rápida a los cambios del mercado”<sup>72</sup>

Ya sea desde los procesos de producción hasta herramientas de trabajo totalmente especializadas, han sido creadas e implementadas para facilitar las tareas de la empresa reduciendo, entre otras cosas, los ciclos de producción.

En cuanto a la producción, en la industria de transformación de plásticos, los costos de transporte y de distribución son bajos con relación al costo total de un producto terminado; por lo que se pretende que, al implementar estas nuevas tecnologías, el costo se vea disminuido logrando un equilibrio entre los costos de producción y el traslado del producto.

Una vez que la empresa haya decidido invertir en nuevas tecnologías debe tomar en cuenta<sup>73</sup>:

- Que resultado espera al adquirir algún tipo de maquinaria de alta tecnología.
- Debe tener contemplado que al pasar de los años seguramente habrá nuevos avances tecnológicos, por lo que tendrá que invertir de nuevo en ellos.

- Al adquirir cualquier tipo de innovación se debe plantear un objetivo para el cual se va destinar.
- Se debe ser consciente que la tecnología no es la solución al 100% de los problemas presentes en una línea de producción.
- Nunca se debe buscar la tecnología a implementar considerando solamente el costo, sino también las necesidades que la empresa tenga.
- Siempre se debe buscar la asesoría de expertos.
- Enfocarse en que los resultados que esta dará no son inmediatos, sino que en realidad se tomará un tiempo y habrá un gasto.

Cabe mencionar que es primordial que para adquirir determinado tipo de tecnología se considere, cual nos resulta beneficiosa para nuestro producto, el mercado que se tiene y hacia que consumidor va dirigido.

Algunos ejemplos de nuevas tecnologías, disponibles para la industria de transformación de plásticos, son:

### **III.1. Sistema Freeformer (APF)**

#### **Piezas de plástico aptas para su funcionamiento, producidas sin moldes (2017)**

Consiste en la manufactura aditiva, creada por la empresa ARBURG, capaz de crear piezas funcionales mediante el modelado libre de plástico a partir de datos CAD 3D. A diferencia de los procedimientos convencionales de manufactura aditiva, que solo pueden utilizar cierto tipo de resinas, con el APF (modelado libre de plástico) se procesan resinas estándar, es decir, de igual forma que con el moldeo por inyección; para así ofrecer mayor libertad en la elección, combinación y transformación de plásticos, creando la posibilidad de producir piezas en serie de una manera individualizada, en un entorno de producción silencioso y libre de polvo.

Los aspectos más destacados de esta técnica son:

- Las piezas son totalmente funcionales
- Se obtienen rápidamente por medio de datos CAD 3D
- Cuenta con un cierre de boquilla temporizado que da mayor calidad a las piezas.
- Utiliza motores lineales en los portadores de componentes para piezas complejas.
- Freeformer de dos componentes para la combinación de colores.
- Manejo intuitivo mediante una pantalla multitáctil.<sup>74</sup>



*Figura III.1. Free former*

Con el sistema de modelado libre del plástico de ARBURG (APF), en lugar de fundir el filamento o pellet y depositarlo de forma continua en forma de un hilo extruido, esta **impresora 3D** deposita minúsculas esferas de plástico fundido según el patrón que el software de preparación le indica a la máquina tras procesar el archivo CAD. El freeformer fabrica la pieza a partir de gotas minúsculas del material basándose en los datos del archivo CAD 3D. En su versión estándar, el freeformer tiene una porta piezas móvil sobre tres ejes y dos unidades de descarga fijas. Cuenta con un espacio para piezas con un tamaño máximo de 154 x 134 x 230 mm. La segunda unidad puede usarse para aplicar una segunda materia prima, para producir p. ej. piezas de diferentes colores, con características físicas especiales o como combinación de duro-blando.<sup>7576</sup>

Las ventajas que presenta; tales como la utilización de más tipos de polímeros, la mayor eficiencia en cuanto a otro tipo de impresión 3D, etc., permite prever que la implementación del freeformer cuenta con un futuro alentador pues, aunque, actualmente, se requiere de una inversión inicial alta, se obtienen piezas de muy buena calidad.<sup>77</sup>

### III.2. Nuevos modelos de máquinas inyectoras (2016)

La empresa **Negri Bossi**, proveedor líder de máquinas de moldeo por inyección en Italia y una de las marcas top en Europa, lanzó, un nuevo concepto de máquina, denominado X

platform, donde la inyectora cuenta con una nueva unidad de cierre, diseñada con un sistema de rodillera tradicional y a la vez que compite con los sistemas de dos platos. Aunque se buscó información respecto a las ventajas que estos equipos presentan en comparación a las ya existentes no se logró identificar claramente dichas diferencias en la información publicada por la compañía.



*Figura III.2. Antonio Rampone, director de área de Negri Bossi, enseña el nuevo concepto X*

Es un sistema de inyección enfocado a lograr diseños flexibles. Contando también con un control táctil de última generación, cargado con un software avanzado. “Este control permite lograr cosas que con otras máquinas no es posible. Con un dedo podemos mover el plato y personalizar el proceso de programación de la máquina. Un operador pueda acceder a todos los parámetros de manera sencilla”, añadió Rampone.

De igual manera, esta empresa *Negri Bossi* presentó también una nueva máquina completamente eléctrica, denominada “ele”, que se apoya en la automatización con un robot de su compañía hermana Sytrama.<sup>78</sup>

### III.3. ELE ALL ELECTRIC (50-350 toneladas)



*Figura III.3.*

Las ELE (Fig. III.3.) cuentan con abrazaderas de doble punta de 5 puntos, máquinas de moldeo por inyección totalmente eléctricas disponibles en modelos de 50, 80, 100, 130, 180, 220, 280 y 350 toneladas. Capacidad de inyección de 22 a 720 (g PS). Ofrece un ahorro de energía de hasta un 80% en comparación con las de accionamiento hidráulico convencionales y reducen de manera considerable los tiempos de ciclo.

Las máquinas ELE están equipadas de serie con:

- Un sistema de control “ETHERNET VARAN PROTOCOL”
- Unidad de cierre Smart Flex 2 con espacio considerable, que permite el uso de moldes más grandes y un plato móvil que se monta en los cojinetes lineales para que se acomode de forma paralela en la platina y así se reduzca el uso de energía
- Fuerte sistema de inyección por medio de un tornillo de alta velocidad y alta carga.
- Pantalla multi táctil basada en TACTUM, con un rango completo de parámetros de control listo para el acceso al servicio remoto inalámbrico AMICO 4.0™.<sup>79</sup>

### III.4. EOS ST (70-180 toneladas)



*Figura III.4.*

Las series EOS ST (Fig. III.4.) cuentan con abrazaderas de dos platos, servo-bomba, máquinas de moldeo por inyección hidráulicas. Un área de recepción de partes grande lo que se logra a través del diseño de la unidad de cierre en voladizo combinado con una unidad de inyección de doble pistón que cuenta con un tornillo hidráulico alternativo. Las capacidades de inyección (g PS) oscilan entre 36 y 600. Las máquinas EOS están equipadas con:

- NUEVO TACTUS™ PC con pantalla táctil con Powerlink, interfaz fácil de usar con una gama completa de parámetros de control.
- Sistema de bomba de engranajes con servomotor altamente eficiente.
- Una innovadora unidad de cierre en voladizo (en el aire) con un espacio de unión grande para acomodar moldes de mayor tamaño y un plato móvil que se monta sobre cojinetes lineales, dando lugar a un paralelismo entre los platos y así asegurar la limpieza en el área de moldeo debido a que no se requiere el uso de aceite lubricante.
- Unidad de inyección grande de doble cilindro.
- Acceso de servicio remoto inalámbrico de AMICO<sup>80</sup>

### III.5. Plásticos en el espacio

Debido a la demanda, a bordo de la estación espacial, de los astronautas que requieren herramientas y piezas; las cuales están siendo reabastecidas desde la tierra, con una espera de semanas o en ocasiones hasta meses.



*Figura III.5. Herramientas en el espacio*

Esto representa un problema a la hora de resolver situaciones críticas dentro de la estación o simplemente, cuando se requiere proporcionar el mantenimiento que se necesita.



*Figura III.6. Vuelo de prueba en Made in Space*

Entre las cuales lo más factible ha sido la implementación de la impresión aditiva o 3D, mediante la cual las piezas pueden ser impresas cuando sean requeridas, mientras se está en el espacio en misiones de larga duración. Esta tecnología se presenta como el primer paso hacia la realización de la impresión 3D en microgravedad, preparándose así para el futuro en el que las piezas puedan ser impresas en el espacio.

Resultando en un reabastecimiento costoso y complejo, por lo que la NASA se ha encargado de buscar alternativas, para resolverlo.



En este sentido, el Marshall Flight Center, (centro Marshall de vuelos espaciales, sede original de la NASA) y Made in Space, (empresa con sede en Estados Unidos) especializada en la ingeniería y fabricación de impresoras tridimensionales para su uso en micro gravedad; se asociaron para desarrollar y lanzar el primer experimento de impresión 3D en la estación espacial internacional. En ésta la impresora asistida por computadora procedió a la elaboración de objetos capa por capa de plástico utilizando materiales como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), polietileno, entre otros; creando así la primera pieza mediante esta tecnología fuera de la Tierra, la cual fue un conector de tubos para irrigación de vegetales fabricado en la Additive Manufacturing Facility (AMF), por la primera impresora 3D comercial instalada de forma permanente en el espacio.<sup>81</sup> En ésta la falta de gravedad constituye un reto al hacer que el plástico fundido y extruido vaya cayendo capa por capa durante la impresión, donde el calor se comporta de manera diferente; por lo que se buscan nuevas formas de controlar la temperatura y la emisión de humos, para evitar que se contamine el hábitat cerrado que presenta la estación espacial.

Considerando la impresora 3D como el primer paso hacia la producción sustentable, ya que el siguiente paso que se ha propuesto es contar con un reciclador, presentado también por Made in Space y Tethers Unlimited, con el que se pretende que al imprimir una pieza ésta, al final de su vida útil, pueda volver a fundirse para ser reutilizada en la elaboración de una nueva pieza en lugar de ser desechada.<sup>82</sup> Lo cual permitiría su reutilización para la impresión de un nuevo producto.

### **III.6. Moldes Inteligentes**

En busca de mejorar la productividad, eficiencia energética y calidad en piezas inyectadas, aprovechando en su totalidad la interacción que existe entre el molde y máquina; optimizando las tareas principales de la inyección, desde la entrada de material, el fundido de este, la inyección del material a la cavidad del molde y finalmente el enfriamiento, entablando una comunicación entre estas.

HyperSync, plantea un sistema altamente entrelazado, en el que molde-máquina-canal caliente-periféricos trabajan de manera conjunta al combinar funcionalidades y capacidad de trabajo en red (networking), creando una sincronía entre molde y máquina que da lugar a una

reducción en los ciclos de producción, y por tanto una reducción de costos, sin perder calidad en el producto.



*Figura III.7.*

A este sistema se le denomina el IMC, (in mold closing), permite supervisar de una manera precisa para determinar el cerrado del molde, esto permite lograr mayores velocidades de cerrado, manteniendo la fuerza de cierre idónea para que la calidad de la pieza se mantenga, aumentando así hasta un 20% la productividad.<sup>83</sup>

Debido a que, actualmente, cada vez son más las aportaciones tecnológicas de innovación por medio de empresas dedicadas a la venta de equipos y maquinaria; las empresas de manufactura plástica que consideran la adquisición de alguno de estos equipos para adentrarse en la **Industria 4.0**, en su producción requieren principalmente la asesoría de una empresa especializada en la **industria 4.0**; la cual en una fase de diagnóstico, de acuerdo al tipo de producto y los clientes a los que va dirigido, se identifica y prioriza el tipo de equipo y herramental con el que se cuenta y cual podría resultar más viable su adquisición; considerando además, el capital con el que se cuenta.

Es importante destacar que se busca que la nueva revolución industrial se encuentre al alcance de todos, sin importar, el tamaño, tipo de proceso o capital con el que cuentan las empresas; sino que el proceso cuente o tenga la capacidad suficiente para ser adaptado digitalmente.

#### IV. Áreas de oportunidad

La industria manufacturera en procesos de transformación de plásticos ha enfrentado cambios a lo largo de los años, hasta hoy en día al enfrentar avances significativos en los procesos de fabricación, en los nuevos materiales, en maquinaria y otras tecnologías que dan lugar a una nueva era en la producción de productos plásticos.

Como se ha venido mencionando a lo largo del documento la Revolución 4.0 ha sido la encargada de pautar lo que la empresa requiere para mantenerse competitiva ante la inminente llegada de un mayor grado de automatización.

Una de las Áreas en las que se ha visto mayor avance es en la implementación y utilización de la manufactura aditiva o impresión 3D ya que abarca múltiples áreas de aplicación desde la industria automotriz hasta la médica; esta técnica permite producir tanto piezas de alta complejidad como de formas sencillas, dando beneficios<sup>84</sup> muy puntuales a la empresa como lo son:



Inexistencia de inventarios



Disponibilidad global y a largo plazo



Coste cero de transporte



Entrega inmediata

*Figura IV.1. Beneficios a la empresa*

Por lo que, concretamente, p. ej., en la industria automotriz en las piezas de fácil cambio que cuentan con poca rotación dentro del automóvil, de las producidas actualmente el 20% ya es imprimible. No obstante, se dice que a la manufactura aditiva aún le falta evolucionar, pues, aunque pareciera que resuelve muchas problemáticas actuales, se espera que en unos años esta sea: más rápida, más barata y que se tenga una mayor calidad en las piezas impresas.

También se busca que esta técnica se convierta en un nuevo modelo de negocio, creando centros de impresión, certificados por los fabricantes, para la impresión 3D.

#### IV.1. Robótica

Dentro de aproximadamente 20 años, los procesos de transformación de plástico según afirman analistas estadounidenses, el mercado global de robots seguirá creciendo un 60 % más al año, de aquí al 2022; esto a medida que sean implementados en la diversidad de industrias y sean cada vez más utilizados por las Pymes (pequeñas y medianas empresas) para automatizar sus procesos, cautivadas por la facilidad que proporcionan, el bajo costo que se espera tener y la retribución de la inversión a un corto plazo.

Se espera que en estos 20 años se consolide el uso de este tipo de tecnologías, que se está implementando gracias a la industria 4.0, por lo menos en los países más industrializados.

Un ejemplo de esto son los Cobots (robots colaborativos) siendo integrados en los procesos de producción de una manera común. Estos dan lugar a una nueva tendencia en la que los Cobots, tienen un toque humano, colaboran en la parte de producción pues pueden manejar herramientas y realizar tareas rutinarias que normalmente son hechas por humanos, todo esto mientras que los trabajadores son los que supervisen las operaciones, lo que se podría considerar la industria 5.0

Lo que podemos esperar es que, en los entornos de producción y manufactura de piezas plásticas, el uso de inteligencia artificial sea la meta que se encuentra detrás de la industria 4.0. El internet de las cosas, los robots, la impresión 3D, son ejemplo de la automatización que se pretende tener en todos los procesos, por medio de sistemas inteligentes.



**Figura IV.2.**

El crecimiento mundial de los robots en el periodo del 2016 al 2019 es muy grande, principalmente, en los países asiáticos; ya que China lidera esta lista desde el 2013, mientras que Estados Unidos y Europa van en crecimiento.

Durante el 2015 el país asiático contaba con 68.566 robots de los 253.748 usados a lo largo del mundo, superando a Europa con 50.073 y a Estados Unidos con 27.704.

Cabe mencionar que China cuenta con un plan para el 2025 en el que pretende integrar estas tecnologías masivamente en toda su red productiva.<sup>86</sup>

#### IV.2. Internet de las cosas (IoT)

Con el “IoT” (Industrial IoT), los datos y los dispositivos físicos que cuentan con él, crean una fuente de valor y conectividad que hace posible construir cadenas de suministro más inteligentes, además de procesos de fabricación y ecosistemas precisos que generan un panorama de cambio para promover la competitividad entre las empresas; por lo que las empresas deben decidir cómo invertir en estas nuevas tecnologías para acarrear mayores beneficios a su organización que ayude al cumplimiento de sus objetivos.

Se estima que tenga un gran potencial que propicie cambios considerables en la industria ya que se estima para el 2020, que se conecten alrededor de 28.000 millones de objetos a internet, desde bienes de consumo personal, automóviles, artículos del hogar, maquinaria industrial y procesos.



*Figura IV.3. Internet de las cosas*

En el caso del sector industrial este cambio se dará por medio de la comunicación (conectividad) generada al trabajar en conjunto; en cuanto al proceso industrial esto ocurrirá por medio de las modificaciones en las áreas de producción.<sup>87</sup>

Al no ser comprendido del todo lo que representa la conectividad para la empresa y, por lo tanto, no conocer mucho acerca de las herramientas tecnológicas que se utilizan dentro de la **industria 4.0**, la National Association of Manufacturers (Asociación Nacional de Fabricantes) estima que el 60% de los 3.4 millones de empleos que se crean en el sector manufacturero se quedarían vacantes.<sup>88</sup> Ya que con la implementación de tecnologías en las diversas operaciones dentro de la empresa, se ahorran una gran cantidad de tiempo en la realización de tareas comunes que antes realizaban los empleados, generando una ventaja para la empresa, pero produciendo efectos adversos en el factor humano pues estos serán reemplazados al generarse nuevos puestos en los que el personal que los desempeñara deberá contar con una mayor capacitación; es decir, más específica de acuerdo a las necesidades que se generen al implementar estos cambios.

La automatización industrial comienza con una optimización y contar con los servicios que se encarguen de la recopilación de datos y la configuración de todos los dispositivos dentro de la industria. Ofreciendo impulsar las ventajas financieras y operativas para reducir costos por energía y por uso de espacio, a la vez que ayudan a asegurar una ventaja competitiva, un alto nivel de integración de infraestructura que permite flexibilidad y mejora la agilidad empresarial.<sup>86,87,88</sup>

## V. CONCLUSIONES

- La aplicación de los conceptos de **Industria 4.0** permitirán a las empresas de transformación de plásticos mejorar su competitividad.
- La ejecución oportuna de los métodos de trabajo de **Industria 4.0** constituye un factor diferencial entre las empresas.
- La implementación de la **Industria 4.0** permite, a las empresas, un mejor posicionamiento para convertirse a mediano plazo en una fábrica inteligente.
- Al adoptar esta tendencia tecnología por parte de las pequeñas y medianas empresas (PyMes), se evita la desaparición de estas por medio de grandes cadenas y empresas de mayor competitividad.
- La adopción de tecnologías asociadas con la **Industria 4.0**, dará lugar a beneficios considerables, como lo son: calidad, eficiencia, agilidad y amplia competitividad en el mercado.
- La manufactura avanzada basada en tecnologías de la **Industria 4.0** y la utilización activa de los datos generados dentro del proceso y la empresa, adentrará a la empresa a una cadena de valor.
- La automatización y la implementación activa de una buena programación, planeación, mantenimiento, mejorará la eficiencia dentro de la empresa.

## VI. RECOMENDACIONES

- Aunque la implementación de estas tecnologías requiere de una alta inversión de capital, la automatización no solo se refiere a la adquisición de maquinaria o sistemas con tecnologías digitales, sino que la empresa puede incluir de una manera propia la manufactura digital por medio de un reacondicionamiento de maquinaria y actualización de tecnologías de menor costo.
- Se pretende generar en las empresas una cultura de innovación y no solo la de producción, pues, quien se adapte de la mejor manera, a esta nueva revolución industrial, será quien sobreviva y permanezca en el mercado de la manufactura de plásticos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

<sup>1</sup> Castillo, Nemesio, Emmanuel García Uribe, y Carlos salas. *EL DESARROLLO Y COMPETITIVIDAD DE LOS SECTORES ECONÓMICOS EN MÉXICO*. 1st ed. Ciudad de México: Centro de investigaciones sociales., 2013. Web. 4 May 2017.

<sup>2</sup> ("Engineers Journal - Ireland's Engineering News Source.")  
"ENGINEERS JOURNAL - IRELAND'S ENGINEERING NEWS SOURCE.." *Engineers Journal*, (Jun. 2017), <http://www.engineersjournal.ie>

<sup>3</sup> INDUSTRIA PLÁSTICA 4.0, REVOLUCIÓN DEL IOT Y LA AUTOMATIZACIÓN  
("Industria Plástica 4.0, Revolución Del Iot Y La Automatización")  
"Industria Plástica 4.0, Revolución Del Iot Y La Automatización." *Plastico.com.co*. 10 July 2017.

<sup>4</sup> TENDENCIAS EMERGENTES QUE TRANSFORMARÁN LA INDUSTRIA PLÁSTICA  
("Tendencias Emergentes Que Transformarán La Industria Plástica")  
"Tendencias Emergentes Que Transformarán La Industria Plástica." *Plastico.com.*, 2017. 9 June 2017.

<sup>5</sup> Castillo N., Garcia E., Salas U. C., EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL EN CIUDAD JUÁREZ

<sup>6</sup> Díaz E., Gómez del Castillo P., Caballero V., Renieblas F., Arriandiaga I., REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 4.0 CAMBIARÁ NO SOLO LO QUE HACEMOS, SINO TAMBIÉN LO QUE SOMOS. (2016). <http://media.investis.com/C/Catalana-occidente/documents/prisma21-completo-baja.pdf>

<sup>7</sup> De la Tijera E., PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA PLÁSTICA 2016: LOS GRANDES DESAFÍOS, (10 de mayo 2016). <http://www.pt-mexico.com/columnas/perspectivas-de-la-industria-plastica-2016-los-grandes-desafos>

<sup>8</sup>ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, ASTM F2792-12a, STANDARD TERMINOLOGY FOR ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES (2015), [www.astm.org](http://www.astm.org) <https://www.astm.org/Standards/F2792.htm>

<sup>9</sup> Wohlers T. MANUFACTURA ADITIVA, (27 de octubre 2010), <http://www.3dcadportal.com/manufactura-aditiva.html>

<sup>10</sup> Cielo T., IMPRESORAS 3D, (28 de noviembre del 2015), <http://recursosenelcarmen.blogspot.mx/2015/11/impresoras-3d.html>

<sup>11</sup> C. Escobar, TIPOS DE IMPRESORAS 3D, (2 de septiembre 2016), <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102883975-tipos-de-impresoras-3d>

<sup>12</sup> Ramírez P., TECNOLOGÍAS ADITIVAS, UN CONCEPTO MAS AMPLIO QUE EL DE PROTOTIPADO RÁPIDO, (8 de julio 2011) [http://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11\\_2133\\_2146.3403.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_2133_2146.3403.pdf)

<sup>13</sup> Sánchez A., ¿CÓMO SURGIO EL MUNDO DE LA IMPRESIÓN 3D? IMPRESIÓN 3D ANTES DE REPRAP, (2 de diciembre 2015), <http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/>

<sup>14</sup> Mariano, IMPRESIÓN 3D, (17 de febrero 2013), <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2013/02/impresion-3d.html>

<sup>15</sup> Trimaker, IMPRESORAS 3D, (7 de mayo 2014), <http://www.trimaker.com>

---

<sup>16</sup> Flórez I., MANUFACTURA ADITIVA: UN CAMBIO EN LAS REGLAS DEL JUEGO, (octubre 2015), <http://www.plastico.com/temas/Manufactura-aditiva,-un-cambio-en-las-reglas-del-juego+108637>

<sup>17</sup> BLANCO R., FONTRDONA, J. (2014): RELOCALITZACIÓ INDUSTRIAL A CATALUNYA. MEMÒRIA ECONÒMICA DE CATALUNYA 2013. Consell General de Cambres de Catalunya.

<sup>18</sup> AM PLATFORM, ADDITIVE MANUFACTURING: STRATEGIC RESEARCH AGENDA.,(2013) MANUFUTURE TECHNOLOGY PLATFORM.

<sup>19</sup> Bovaird A., (2011): DEMAND FOR ADDITIVE MANUFACTURING PRINTERS IN THE U.S. AND EUROPE. (6 de julio 2011), Grassroots Research,.

<sup>20</sup> Zelinsk P, CONCEPTOS BASICOS DE MANUFACTURA ADITIVA, (1de marzo 2016), <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/conceptos-bsicos-de-manufactura-aditiva>

<sup>21</sup> Lipson,H y kurman M., FABRICATED: THE NEW WORLD OF 3D PRINTING, (2103) , Ed, John Wiley & sons, inc. Indinapolis

<sup>22</sup> Tardón L., ÓRGANOS FABRICADOS CON IMPRESIÓN 3D MAS ESISTENTES, (15 de febrero 2016), <http://www.elmundo.es/salud/2016/02/15/56c1f71322601d12128b4582.html>

<sup>23</sup> Frax J., USO DOMESTICO DE LAS IMPRESORAS 3D, (22 de septiembre 2015), <http://frax3d.com/uso-domestico-impresoras-3d>

<sup>24</sup> Leon 3D, GUIA DE RESOLUCION DE PROBLEMAS, <http://www.leon-3d.es/guia-de-resolucion-de-problemas/>

- 
- <sup>25</sup> Simplify3D, Print Quality Troubleshooting Guide ,( 2017),  
<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/#layer-shifting-or-misalignment>
- <sup>26</sup> Simplify3D, PROBLEMAS DE IMPRESIÓN, (1 de enero 2017), ,  
<http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2017/01/04/problemas-de-impresion/>
- <sup>27</sup> Plastics Technology México, CONCEPTOS BÁSICOS DE MANUFACTURA ADITIVA, (1 marzo 2016), <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/conceptos-bsicos-de-manufactura-aditiva21>
- <sup>28</sup> Tirado D., INDUSTRIA PLÁSTICA 4.0: LA REVOLUCIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS Y LA AUTOMATIZACIÓN.
- <sup>29</sup> Elyse B., INTERNET OF THINGS: WHAT IS IT, AND CAN IT REALLY CHANGE THE WORLD: POCKET LIN., (2014),
- <sup>30</sup> Vijay S., IBM INTERNET OF THINGS,(2014),
- <sup>31</sup>Ministerio de Industria, INDUSTRIA 4.0,  
<http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/Index.aspx#industria-4>
- <sup>32</sup> Evans D., THE INTERNET OF THINGS HOW THE NEXT EVOLUTION OF THE INTERNET IS CHANGING EVERYTHIN, (2011).
- <sup>33</sup>Guilera L., LA CUARTA REVOLUCION INDUSTRIAL, (2016),  
<http://www.esdi.url.edu/content/pdf/article-industria-4.0--esp-.pdf>
- <sup>34</sup> Colegio de Ingenieros de Barcelona, 2016 AÑO DE LA INDUSTRIA 4.0, (2016),  
<https://www.enginyersbcn.cat/colegi/any-industria-40/>
- <sup>35</sup> PwC, TECHNOLOGICAL TRENDS, (2015).

---

<sup>36</sup> Watson, B. SIEMENS AND THE BATTLE AGAINST BRIBERY AND CORRUPTION, THE GUARDIAN, (2013).

<sup>37</sup> Omega, INDUSTRIA 4.0, LA PROXIMA REVOLUCION INDUSTRIAL, (2016), <http://mx.omega.com/technical-learning/proxima-revolucion-industrial.html>

<sup>38</sup> Tirado L, INDUSTRIA PLÁSTICA 4.0: LA REVOLUCIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS, (13 de noviembre 2016), [www.triditech.com](http://www.triditech.com)

<sup>39</sup> Noriega M., TENDENCIAS EMERGENTES QUE TRANSFORMARAN LA INDUSTRIA PLÁSTICA, (febrero 2016), <http://www.plastico.com/temas/Tendencias-emergentes-que-transformaran-la-industria-plastica+110498>

<sup>40</sup> PU, ROBOTS PARA MEJORAR L PROCESO DE TRANSFORMACIÓN, (30 de octubre 2012), <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/35131-Robots-para-mejorar-el-proceso-de-transformacion.html>

<sup>41</sup> Deligio T., Naitove M., DE ROBOTS A COBOTS: NUEVA GENERACION DE AUTOMATIZACION LLEGA AL PROCESAMIENTO DE PLASTICOS, (4 de agosto 2016), <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/de-robots-a-cobots-nueva-generacin-de-automatizacin-llega-al-procesamiento-de-plsticos>

<sup>42</sup> Kendrick S., NUEVAS ALTERNATIVAS EN ROBOTS MULTI EJE PARA EL MOLDEO PLASTICO POR INYECCIÓN, (28 de enero 2015), <http://www.sepro-america.com/es/news/nuevas-alternativas-en-robots-multi-eje-para-el-moldeo-plastico-por-inyeccion/>

<sup>43</sup> SEPRO Rebotique, ENTIENDA SUS OPCIONES EN ROBOTS DE MULTIPLES EJES PARA MOLDEO POR INYECCION, (abril 2017), <http://www.plastico.com/temas/Entienda-sus-opciones-en-robots-de-multiples-ejes-para-moldeo-por-inyeccion+119031>

---

44 Interempresas, FERIA VIRTUAL,  
<https://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Robot-para-la-inyeccion-Fanuc-Robomachine-SR-Mate-200iA-26714.html>

45 PU, ROBOTS PARA MEJORAR EL PROCESO DE TRANSFORMACION, (octubre 2010), <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/35131-Robots-para-mejorar-el-proceso-de-transformacion.html>

46 Yaskawa, MOTOMAN ROBOTS, (2017), [http://www.motoman.co.uk/en/products/robots-ararchive/product-view/?tx\\_catalogobot\\_pi1\[uid\]=417&cHash=617f6c64f9cd7fefce79ed664191fe32](http://www.motoman.co.uk/en/products/robots-ararchive/product-view/?tx_catalogobot_pi1[uid]=417&cHash=617f6c64f9cd7fefce79ed664191fe32)

47 Allen D., COBOTS COMING TO A MEDICAL PACKAGER- MAYBE NEAR YOU, (octubre 6 2017), <http://www.packagingdigest.com/robotics/pmp-cobots-coming-medical-packager-maybe-near-you-171006>

48 García J., SALES DEVELOPMENT MANAGER DE UNIVERSAL ROBOTS, (20 de junio 2017), <http://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/188221-Entrevista-a-Jordi-Pelegri-Sales-Development-Manager-de-Universal-Robots.html>

49 Bocken, N. M. P.; Short, S. W.; Rana, P.; Evans, S., A LITERATURE AND PRACTICE REVIEW TO DEVELOP SUSTAINABLE BUSINESS MODEL ARCHETYPES. *Journal of cleaner production*, 65, 42-56, (2014).

50 Schaltegger, S.; Wagner, M.: SUSTAINABLE ENTREPRENEURSHIP AND SUSTAINABILITY INNOVATION: CATEGORIES AND INTERACTIONS. *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 222-237, (2011).

51 Chertow, M. R.: "UNCOVERING" INDUSTRIAL SYMBIOSIS. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY*, 11(1), 11-30, (2007).

<sup>52</sup> Engeser, S.; Vollmeyer, R.: Tätigkeitsanreize , Flow-E., Vollmeyer, R.; Brunstein, J.C. (Hrsg.): MOTIVATIONSPSYCHOLOGIE UND IHRE ANWENDUNGEN, (2005)

<sup>53</sup> T. F. Scott , A. D. Schneider , W. D. Cook , C. N. Bowman , SCIENCE, ( 2005 ) , 308 , 1615 .

<sup>54</sup> D. Montarnal , M. Capelot , F. Tournilhac , L. Leibler , SCIENCE ,(2011) , 334 , 965 .

<sup>55</sup> Meyerson B., TECNOLOGIA EMERGENTE 2015: PLÁSTICOS TERMOESTABLES RECICLABLES, (4 de marzo 2015), <https://www.weforum.org/es/agenda/2015/03/tecnologia-emergente-2015-plasticos-termoestables-reciclables/>

<sup>56</sup> M. Capelot , D. Montarnal , F. Tournilhac , L. Leibler , J. Am., CHEM. SOC., ( 2012 ) , 134 , 7664.

<sup>57</sup> Park H. , Kloxin C., Scott F., Bowman C. , MACROMOLECULES, (2010), , 43 , 10188

<sup>58</sup> Telfeyan E., RECYCLING OF GLASS FIBRE COMPOSITES, ceer.alfred.edu/research/derosaposter.ppt

<sup>59</sup> 2. Henshaw, J.M., Han, W., Owens, A.D.: AN OVERVIEW OF RECYCLING ISSUES FOR COMPOSITE MATERIALS. J. THERMOPLAST. (1996)

<sup>60</sup> Jiang G. , Pickering S., Walker G., Bowering N., Wong K., Rudd C., THERMOCHIM, (2007) , 454 , 109 .

<sup>61</sup> Williams P. T., Cunliffe A., Jones, N., ENERGY INST, (2005) , 78 , 51 .

---

<sup>62</sup> Youchun Z., Broekhuis A., Picchioni F., THERMALLY SELF-HEALING POLYMERIC MATERIALS:THE NEXT STEP TO RECYCLING THERMOSET POLYMERS?, (December 11, 2008).

<sup>63</sup> Mayerson B., LAS 10 TECNOLOGÍAS EMERGENTES DE 2015, (marzo 2015), <https://www.weforum.org/es/agenda/2015/03/tecnologia-emergente-2015-plasticos-termoestables-reciclables/>

<sup>64</sup> Kai Yu , Qian Shi , Martin L. Dunn , Tiejun Wang , H. Jerry Qi , CARBON FIBER REINFORCED THERMOSET COMPOSITE WITH NEAR 100% RECYCLABILITY, Adv. Funct. Mater., (2016), 26, 6098–6106

<sup>66</sup> Admin, EL FUTURO, DE LA ECONOMIA CIRCULAR, (2016), <http://www.trinomio.es/economia-circular/>

<sup>67</sup> Gutiérrez A., ECONOMÍA CIRCULAR:REPENSANDO EL MODELO DE EMPRESA, (28 de julio 2015), <https://www.forbes.com.mx/economia-circular-repensando-el-modelo-de-empresa/>

<sup>68</sup> AINIA insights, LA ECONOMIA CIRCULAR, (abril 2016), AINIA insights

<sup>69</sup> McGuinness M., CIRCULAR ECONOMY, (june 19 2016), <https://www.accenture.com/es-es/company-circular-economy-opportunity-spain>

<sup>70</sup> Chinchilla A., EL FUTURO DE LOS RESIDUOS EN CLAVE DIGITAL, (18 de enero 2017), <https://aunclidelastic.blogthinkbig.com/el-futuro-de-los-residuos-en-clave-digital/>

<sup>71</sup> García E., ECONOMÍA CIRCULAR: GIRA EL MUNDO, GIRA, (30 de marzo 2017), <https://aunclidelastic.blogthinkbig.com/economia-circular-gira-el-mundo-gira/>



<sup>72</sup> Prak J., TENDENCIAS EN PROCESOS DE TRANSFORMACION PLÁSTICA PARA 2014-2015, (mayo 2014), <http://www.plastico.com/temas/Tendencias-en-procesos-de-transformacion-plastica-para-2014-2015+97666>

<sup>73</sup> Rodríguez S., ¿Por qué LAS EMPRESAS DEBEN INVERTIR EN TECNOLOGIA?, (23 de junio 2017), <https://axiacore.com/blog/por-que-las-empresas-deben-invertir-en-tecnologia/>

<sup>74</sup> Arburg, SISTEMA FREEFORMER, (2017), <https://www.arburg.com/es/mx/productos-y-servicios/fabricacion-aditiva/sistema-freeformer/>

<sup>75</sup><https://www.expoplasticos.com.mx/2017/es/blog/96-sistema-freeformer-piezas-de-plastico-aptas-para-el-funcionamiento-sin-moldes>

<sup>76</sup> Arburg, PROCESO APF, (2017), <https://www.arburg.com/es/mx/productos-y-servicios/fabricacion-aditiva/proceso-apf/>

<sup>77</sup> Arburg, MODELADO LIBRE DE PLASTICO ARBURG, (2017), [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_apf\\_681219\\_es.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_apf_681219_es.pdf)

<sup>78</sup>Plastics Tecnology, NEGRI BOSSI, (2016), <http://www.pt-mexico.com/noticias/post/negri-bossi-lanza-nuevo-concepto-00000000000000000000-de-mquinas-inyectoras>

<sup>79</sup> Negri Bossi, TECNOLOGÍAS, (26 de junio 2017), <https://www.negribossi.com/es-gl/productos/ele-all-electric-injection-molding-machines/>

<sup>80</sup> Negri Bossi, Negri Bossi capta toda la atención en FIP Solution Plastique 2017, (5 de mayo 2017), <https://www.negribossi.com/eos-st-servo-hydraulic-two-platen-injection-moulding-machines/>

<sup>81</sup> Plastics Tecnology, PLÁSTICOS EN EL ESPACIO, (2016), <https://www.expoplasticos.com.mx/2017/es/blog/81-plasticos-en-el-espacio-con-braskem>

<sup>82</sup> Kemmer A., Dunn J., Chen M., Snyder M., MADE IN SPACE, (agosto 1 2011), <https://www.crunchbase.com/organization/made-in-space9>

<sup>83</sup> Flórez L., MOLDES INTELIGENTES ¿Qué TAN CERCA ESTAMOS?, (agosto 2017), <http://www.plastico.com/temas/Moldes-inteligentes,-que-tan-cerca-estamos+121331?pagina=1>

<sup>84</sup> Miebach Consulting JUNGHEINRICH PLACES A PROMISSORY NOTE BOND TOTALLING MORE THAN €100M, (october 13 2017), [Www.warehousingireland.ie](http://www.warehousingireland.ie)

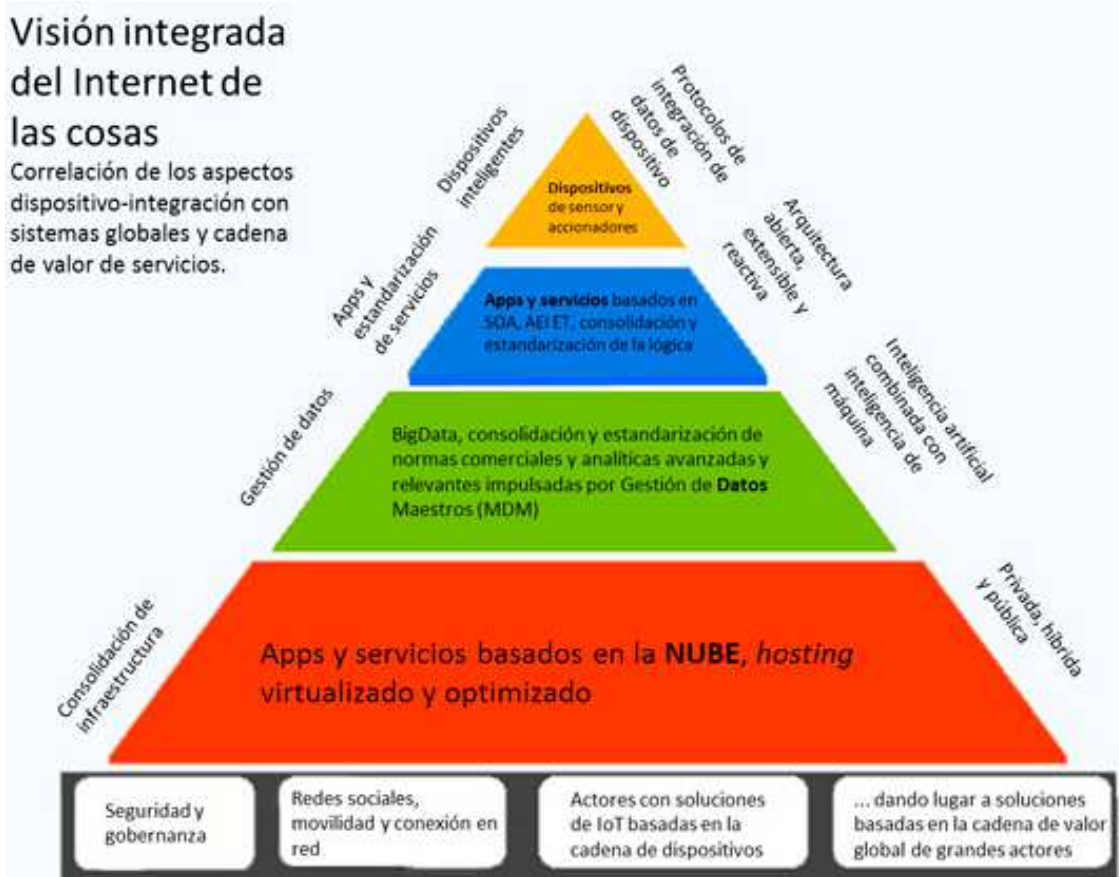
<sup>85</sup> García J., SALES DEVELOPMENT MANAGER DE UNIVERSAL ROBOTS, (june 26 2017), <http://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/188221-Entrevista-a-Jordi-Pelegri-Sales-Development-Manager-de-Universal-Robots.html>

<sup>86</sup> García J., ENTREVISTA A JUANLUIS ELORRIAGA, PRESIDENTE DE LA AER-ATP, 28 de febrero 2017), <http://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/168150-Entrevista-a-Juan-Luis-Elorriaga-presidente-de-la-AER-ATP.html>

<sup>87</sup> Rodriguez K., ADOPCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA, (21 de octubre 2016), <http://computerworldmexico.com.mx/del-viejo-al-nuevo-mundo-manufactura-4-0/>

<sup>88</sup> Nagel D., SECURITY TOPS LIST TRENDS THAT WILL IMPACT THE INTERNET OF THINGS, (february 2 2016), <https://campustechnology.com/articles/2016/02/25/security-tops-list-of-trends-that-will-impact-the-internet-of-things.aspx>

<sup>89</sup> Taylor S., 10 PREDICTIONS FOR THE FUTURE OF IoT, (march 31 2016),<http://www.dbta.com/BigDataQuarterly/Articles/10-Predictions-for-the-Future-of-IoT-109996.aspx>



<https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2016/04/banafa-10-tendencias-eng-B.jpg>