

**Impactos y beneficios derivados de la automatización en el proceso de fabricación de preformas de envases plásticos a partir de resina PET en Colombia**

Omar Gonzalo Buitrago Arciniegas

Wilson Alfredo Polo Montes

Asesor

Medardo Quintero García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básica, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Tecnología en Automatización Electrónica Industrial

2025

## Nota de Aceptación

---

Nombre Director de Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

### **Dedicatoria**

A Dios, por regalarnos el don de la vida, la salud y la oportunidad de llegar hasta este momento tan significativo. A nuestras familias, por ser nuestro pilar constante, por su amor incondicional y por estar presentes incluso en los momentos más difíciles, animándonos a seguir adelante y a no rendirnos.

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al ingeniero Medardo Quintero García, por su valioso acompañamiento y orientación como tutor en la realización de esta monografía.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por brindarnos las herramientas necesarias para nuestro crecimiento académico y personal.

También agradecemos profundamente a todas las personas que nos acompañaron y apoyaron durante este proceso. Gracias a ustedes, este trabajo fue posible.

## Glosario

**CAPEX (Capital Expenditure):** Gasto de capital. Inversión en activos fijos o de larga duración (maquinaria, instalaciones, licencias) que se amortiza a lo largo de su vida útil, en lugar de registrarse como gasto inmediato.

**Ciclo de inyección:** Período completo que abarca la fusión del PET, la inyección en el molde, el enfriamiento de la preforma y su extracción de la máquina.

**Economía circular:** Modelo de producción y consumo que busca cerrar el ciclo de materiales, reincorporando residuos (por ejemplo, rPET) al proceso productivo para reducir la dependencia de recursos vírgenes y minimizar los desechos.

**IA (Inteligencia Artificial):** Conjunto de técnicas y algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos, reconocer patrones y tomar decisiones autónomas. Se aplica en visión artificial, mantenimiento predictivo y optimización de procesos.

**Industria 4.0:** Etapa de la transformación digital de la manufactura que integra automatización avanzada, sistemas ciber-físicos, IoT, big data e IA para crear “fábricas inteligentes” capaces de autorregularse y mejorar de forma continua.

**IoT (Internet de las Cosas):** Red de dispositivos y sensores interconectados que recopilan y comparten datos en tiempo real, facilitando el monitoreo, control y análisis de la planta productiva a distancia.

**Lean manufacturing:** Conjunto de principios y métodos para optimizar procesos, eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia mediante herramientas como Kaizen, las 5S y el mapeo de flujo de valor.

**MES / MOM (Manufacturing Execution System / Manufacturing Operations Management):** Software de planta que controla y supervisa en tiempo real la ejecución de la

producción (MES) y, de forma más amplia, gestiona todas las operaciones de manufactura, incluidos inventarios, calidad y mantenimiento (MOM), registrando datos y KPIs.

OPEX (Operating Expenditure): Gastos operativos. Costos corrientes de operación (energía, mano de obra, consumibles) que se cargan directamente al periodo en que se incurren.

PET (Polietileno Tereftalato): Termoplástico comúnmente utilizado para fabricar preformas y envases debido a su ligereza, resistencia química y reciclabilidad.

Pick-and-place: Función robótica en la que un dispositivo automático “toma” (pick) una pieza de un punto de la línea y la “coloca” (place) en otro, agilizando la manipulación y reduciendo la intervención manual.

PLC (Programmable Logic Controller): Controlador lógico programable: equipo electrónico que ejecuta secuencias de control y lógicas de automatización en la planta, gestionando sensores y actuadores en tiempo real.

pzas/h (Piezas por hora): Unidad de medida de productividad que indica cuántas preformas se fabrican en una hora de operación continua.

Proceso de inyección–soplado: Método de dos etapas en la fabricación de botellas PET: primero se inyecta la preforma en un molde, luego se estira y sopla para darle su forma final de envase.

rPET (Recycled PET): PET reciclado, proveniente de residuos post-consumo o postindustriales, reprocesado y reincorporado a la producción de nuevas preformas o botellas.

ROI (Return on Investment): Retorno de la inversión. Indicador financiero que compara el beneficio neto obtenido con la inversión inicial (CAPEX), expresado como porcentaje.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): Sistema de supervisión y adquisición de datos que recopila información de la planta, muestra alarmas, genera históricos y permite controlar procesos de forma remota.

Scrap: Material de desecho o piezas defectuosas que no cumplen las especificaciones y deben descartarse o reprocesarse, impactando la eficiencia y el aprovechamiento de materia prima.

Servo-eléctrica: Tipo de máquina de inyección que emplea motores eléctricos de precisión (en lugar de sistemas hidráulicos) para mover ejes, optimizando el consumo energético, la velocidad y el control de posición.

Smart Factory: Fábrica inteligente en la que se aplican tecnologías de Industria 4.0 (IoT, IA, sistemas ciber-físicos) para lograr autorregistro, auto optimización y toma de decisiones autónoma.

Sistemas de reciclaje inline de rPET con ajuste automático de receta: Módulos integrados en la línea de producción que procesan PET reciclado (molienda, secado) y, mediante sensores, ajustan en tiempo real la proporción de rPET y PET virgen para mantener la calidad de las preformas.

## Resumen

Esta monografía analiza los impactos de la automatización en la fabricación de preformas de PET en Colombia, contrastando procesos convencionales (basados en máquinas hidráulicas y alta intervención humana) con procesos automatizados (robotizados, con control PLC/SCADA e integración digital). A partir de una revisión documental y el análisis de casos, se identifican beneficios tecnológicos (mayor precisión y monitoreo en tiempo real), productivos (incremento de hasta 30 % en eficiencia), económicos (reducción de costos y retorno de inversión cercano al 80 %) y ambientales (menor consumo energético y desperdicio de material). También se abordan retos como la necesidad de personal capacitado, la inversión inicial y la ciberseguridad. Se concluye que la automatización representa una vía clave para la sostenibilidad y competitividad del sector plástico en Colombia.

**Palabras claves:** Automatización, industria 4.0, producción de preformas PET, eficiencia, sostenibilidad y competitividad

## **Abstract**

This monograph analyzes the impacts of automation in the manufacturing of PET preforms in Colombia, contrasting conventional processes (based on hydraulic machines and high human intervention) with automated processes (robotized, with PLC/SCADA control and digital integration). Based on a documentary review and case analysis, the study identifies technological benefits (greater precision and real-time monitoring), productive improvements (up to a 30% increase in efficiency), economic advantages (cost reduction and return on investment close to 80%), and environmental gains (lower energy consumption and material waste). It also addresses challenges such as the need for skilled personnel, high initial investment, and cybersecurity concerns. The study concludes that automation is a key pathway to enhance the sustainability and competitiveness of Colombia's plastics sector.

**Keywords:** Automation industry 4.0, PET preform production, efficiency, sustainability, and competitiveness

## Tabla de Contenido

Glosario.....	5
Introducción .....	14
Generalidades.....	17
Planteamiento del Problema.....	17
Justificación.....	18
Objetivos .....	19
Objetivo General .....	19
Objetivos Específicos .....	20
Marco Teórico.....	20
Automatización Industrial .....	20
Particularidades del PET y su Transformación en Preformas .....	21
Preformas.....	22
Evolución y Estado Actual de la Automatización en la Industria de Preformas de Envases PET en Colombia.....	24
Automatización: Acercamiento Conceptual .....	24
Datos Históricos sobre la Automatización en el Contexto Industrial .....	25
Aplicaciones y Tecnologías Actuales.....	28
Automatización Industrial en Colombia: Historia y Enfoque en el Sector Plástico .....	29
Contexto de la Automatización en la Industria Plástica Colombiana .....	32
Sector de Preformas Plásticas en Colombia .....	35
Principales Impactos de la Automatización en la Industria de Preformas Plásticas en Términos Operativos, Tecnológicos, Ambientales y Económicos .....	38

Impactos Operativos.....	38
Impactos Tecnológicos.....	40
Impactos Ambientales.....	42
Impactos Económicos .....	45
Diferencias entre los Procesos Automatizados y los Convencionales, Determinando Ventajas, Limitaciones y Áreas de Oportunidad en Cada Enfoque.....	46
Procesos Convencionales en la Fabricación de Preformas de PET .....	46
Ventajas de Procesos Convencionales .....	47
Limitaciones de Procesos Convencionales.....	47
Procesos Automatizados en Producción de Preformas PET .....	48
Ventajas de Procesos Automatizados.....	48
Limitaciones de Procesos Automatizados.....	49
Discusión.....	53
Conclusiones.....	55
Recomendaciones .....	56
Referencias Bibliográficas .....	57

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Comparativo Proceso Convencional vs Proceso Automatizado</i> .....	50
--	----

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Evolución de la Automatización Industrial en Cuatro Eras</i> .....	27
---	----

## Introducción

A lo largo de las últimas décadas, la sociedad ha experimentado profundas transformaciones impulsadas por los avances tecnológicos, en particular por el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación. La industria, lejos de permanecer al margen, ha asumido estos cambios como una oportunidad y un desafío: la modernización de sus procesos productivos exige adaptación continua a la denominada “era digital”. En este marco, la automatización, definida como la acción de “gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano” (Pérez-López, 2015, p. 4), ha jugado un rol determinante, evolucionando desde la tercera revolución industrial hasta nuestros días para ofrecer nuevas formas de optimizar operaciones y mejorar la eficiencia en las plantas de producción.

De manera global, el mercado de envases plásticos, que incluye botellas y contenedores rígidos de PET, HDPE y otros polímeros, ha mostrado un crecimiento sostenido. Según Mordor Intelligence, se espera que la producción mundial de estos envases alcance 42,10 millones de toneladas métricas en 2025, con una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) del 3,94 % hasta 2030, cuando podría llegar a 51,07 millones de toneladas métricas (Mordor Intelligence, 2024). Esta expansión está impulsada por la demanda de soluciones de envasado ligeras, seguras y reciclables, así como por la creciente necesidad de sostenibilidad en los sectores de alimentos, bebidas y farmacéutica.

De acuerdo con Mordor Intelligence (2024), en particular, la región de Asia-Pacífico se perfila como el mercado más grande y de más rápido crecimiento, reflejando la fuerte industrialización y el auge del consumo interno en países como China e India. Por su parte, Europa y Norteamérica también contribuyen significativamente al volumen global, aunque con

tasas de crecimiento ligeramente inferiores (3–4 % CAGR), gracias a la madurez de sus industrias y a las iniciativas regulatorias de economía circular (párr. 1-5-9).

En el ámbito específico de la fabricación de preformas de PET, Plastics Technology México (2025) y Grupo Petrop (2025) coinciden en que los sistemas automatizados facilitan tareas repetitivas y de alta precisión, reducen errores y desperdicios, y potencian la sostenibilidad del proceso mediante menores emisiones y un uso más eficiente de la materia prima. Tecnologías como robots colaborativos, impresoras 3D y extrusores automatizados elevan la exactitud dimensional y la uniformidad de los preformas, ofreciendo un valor añadido frente a los procesos manuales o semiautomáticos.

Este panorama contrasta con la evolución de la industria colombiana. Según la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la modernización en Colombia ha sido más lenta que el promedio latinoamericano, con retos en conciencia de los beneficios de la automatización, resistencia al cambio y déficit de habilidades técnicas. No obstante, existen sectores tales como manufactura, logística, salud, telecomunicaciones y servicios financieros, donde la adopción de tecnologías avanzadas muestra un aumento sostenido del interés (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024).

La industria colombiana de preformas de PET, aunque con potencial para el desarrollo, presenta un rezago tecnológico frente a los estándares internacionales. Esto plantea interrogantes fundamentales sobre el grado de incorporación de tecnologías automatizadas, su impacto real en la eficiencia operativa, la sostenibilidad del proceso y los factores que obstaculizan o promueven su implementación.

Todo este panorama pone de manifiesto un interrogante que se esboza como pregunta problemática para el desarrollo de la presente investigación: ¿Cuáles son los impactos de la

automatización en la fabricación de preformas de PET en Colombia y qué barreras enfrentan las empresas del sector para su adopción efectiva?

Dar respuesta a este interrogante permitirá identificar todos los aspectos y beneficios técnicos y económicos que fomenta la automatización en este tipo de producción, sino también los procesos y desafíos estructurales que enfrenta la industria nacional. De esta forma, el presente estudio se orienta a identificar los factores determinantes que condicionan la modernización tecnológica del sector, aportando elementos de análisis para el diseño de estrategias que fomenten la competitividad y sostenibilidad de las empresas colombianas en el ámbito del envasado plástico

## Generalidades

### Planteamiento del Problema

La revolución tecnológica vivida en los últimos años es un proceso que ha transformado profundamente la forma de producción, comunicación y relación con el entorno. En este escenario, la automatización entendida como “la aplicación de tecnología, programas, robótica o procesos para lograr resultados con una intervención humana mínima”(IBM, 2021a, párr. 1) ha tomado un papel protagónico dentro de la industria global, al permitir que muchos procesos se realicen con mayor precisión, eficiencia y sostenibilidad, sin depender de la intervención constante del ser humano. De acuerdo con Napoli, (2025) la integración de sistemas automatizados en la industria manufacturera ha sido identificada como una estrategia clave para alcanzar niveles superiores de eficiencia y adaptabilidad ante los cambios tecnológicos y económicos. Este cambio no solo ha optimizado las operaciones, sino que también ha redefinido los estándares de productividad en sectores clave como el de los envases plásticos (párr. 1-3).

A nivel mundial, la fabricación de preformas de PET, materia prima fundamental para envases de bebidas, productos de higiene, alimentos y fármacos, se ha beneficiado significativamente del uso de tecnologías automatizadas. Equipos como extrusores de alta precisión, robots colaborativos y sistemas de control inteligente han permitido mejorar la calidad del producto final, reducir el desperdicio de materiales y minimizar el impacto ambiental del proceso productivo. No obstante, la realidad en Colombia dista mucho de este panorama.

Pese al potencial que tiene el país para desarrollarse en este ámbito, existe un rezago que pone de manifiesto el uso de procesos manuales o semiautomáticos en muchas empresas del sector, situación que limita su capacidad para competir en un mercado cada vez más exigente y globalizado. Estudios recientes, como los de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

(2024), advierten que factores como la falta de conocimiento sobre los beneficios de la automatización, la resistencia al cambio, y la escasez de personal capacitado, son aspectos que han dificultado la adopción más rápida de estas tecnologías en el país (párr. 8).

Esta situación conlleva a plantear un interrogante clave: ¿Qué impacto está teniendo la automatización en la fabricación de preformas de PET en Colombia y cuáles son los principales obstáculos que enfrentan las empresas para adoptarla de manera efectiva?

Dar respuesta a este cuestionamiento no solo ayudará a identificar los beneficios reales que la automatización puede ofrecer al sector, en términos de eficiencia, calidad, sostenibilidad y competitividad, sino que también permitirá entender por qué su implementación no ha avanzado al ritmo esperado. De acuerdo con este panorama, con este estudio se busca aportar elementos de análisis que ayuden a trazar rutas posibles para que las empresas colombianas se sumen con mayor fuerza a las tendencias tecnológicas globales, fortaleciendo así su presencia en un mercado en expansión y apostando por una industria más moderna, eficiente y alineada con los desafíos del siglo XXI.

### **Justificación**

La fabricación de preformas de PET es un eslabón clave en la cadena de producción de envases plásticos, un sector que a nivel global avanza hacia procesos altamente automatizados para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad del mismo. En Colombia, sin embargo, la adopción de estas tecnologías sigue siendo limitada, lo que reduce la competitividad del sector frente a mercados más desarrollados.

La presente investigación cobra relevancia por varias razones. En primer lugar, permitirá describir y analizar la situación actual de la automatización en la fabricación de preformas de PET en Colombia, visibilizando los beneficios alcanzados y las áreas donde persisten

dificultades. En segundo lugar, aportará evidencia cualitativa sobre las percepciones, experiencias y estrategias que los actores del sector han desarrollado frente a la modernización de sus procesos productivos. Finalmente, generará insumos para la toma de decisiones que puedan guiar a las empresas hacia una transición tecnológica más efectiva, ajustada a sus capacidades y al contexto nacional.

Desde una perspectiva académica, esta investigación ayuda a llenar un vacío en la literatura técnica y de gestión industrial sobre el caso colombiano, ya que la mayoría de los estudios actuales se enfocan en panoramas internacionales o en otros segmentos de la industria del plástico.

En síntesis, este trabajo no solo describe la automatización como una tendencia tecnológica, sino que busca entender su impacto real y los retos que enfrenta la industria colombiana de preformas de PET. Con su desarrollo se generará información relevante para proponer rutas de acción concretas que permitan a este sector avanzar hacia un modelo productivo más moderno, eficiente y sostenible, en concordancia con las exigencias del mercado global.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Analizar los impactos y beneficios derivados de la automatización en el proceso de fabricación de preformas de envases plásticos a partir de resina PET en Colombia, considerando aspectos ambientales, tecnológicos, de producción y de costos, a través de un estudio monográfico fundamentado en la revisión y análisis crítico de la literatura existente.

### ***Objetivos Específicos***

Describir la evolución y el estado actual de la automatización en la industria de preformas de envases plásticos con resina PET en Colombia.

Identificar los principales impactos de la automatización en términos operativos, tecnológicos, ambientales y económicos.

Comparar las diferencias entre los procesos automatizados y los convencionales, determinando ventajas, limitaciones y áreas de oportunidad en cada enfoque.

### **Marco Teórico**

#### ***Automatización Industrial***

La automatización se define como la aplicación de tecnologías y sistemas de control que permiten la ejecución de procesos productivos con mínima intervención humana (Pérez-López, 2015). De igual forma IBM la define como “la aplicación de tecnología, programas, robótica o procesos para lograr resultados con una intervención humana mínima” (2021a). En el ámbito industrial, esta transformación digital se ha consolidado como un factor determinante para la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de errores y la estandarización de procesos.

La automatización implica la aplicación de tecnología para realizar tareas y procesos de manera autónoma, lo que permite a las empresas mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad. Aquellas empresas que no se adaptan y aprovechen las tecnologías de automatización están destinadas a perder competitividad y productividad frente a sus competidores. Se estima que la adopción de la automatización puede aumentar la productividad mínima un 30% o más, al eliminar errores humanos, liberar a los humanos para realizar actividades de mayor valor y agilizar los procesos (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024, párr. 3).

Teniendo en cuenta esto, la automatización constituye una herramienta esencial para la modernización de procesos industriales, permitiendo un monitoreo constante y una capacidad de

respuesta y control en tiempo real lo que se traduce en beneficios operativos significativos, aunque también conlleva desafíos tales como la alta inversión inicial y la necesidad de capacitación especializada.

En síntesis, la automatización industrial se refiere al uso de tecnologías avanzadas para controlar y operar procesos industriales sin intervención humana directa. Y en el contexto de la industria y los avances tecnológicos de la nueva era, su objetivo es mejorar la eficiencia, precisión y velocidad de las operaciones, a la vez que reduce el error humano, los costos operativos y los tiempos de producción. En la industria de envases plásticos, la automatización se aplica en diversas etapas del proceso, desde el control de la materia prima hasta la inspección y el embalaje del producto final.

### ***Particularidades del PET y su Transformación en Preformas***

El PET conocido también como tereftalato de polietileno es un termoplástico que nace en “1975: Gracias a Nathaniel C. Wyeth”(CAELCA S.A.S., 2022). Explica Pasquel Salas, (2024) que el PET es un tipo de plástico ampliamente utilizado en las industrias alimentaria y textil gracias a su combinación de propiedades físicas y químicas y que su alta resistencia lo hace ideal para envases que requieren durabilidad, mientras que su transparencia permite una presentación atractiva del producto. Además, su capacidad para actuar como barrera frente a gases y humedad ayuda a preservar la calidad y frescura de los alimentos y bebidas. Su ligereza facilita el transporte y reduce costos logísticos, y su reciclabilidad lo convierte en una opción más sostenible dentro de la economía circular (p. 7-9).

Es importante señalar que la producción del PET involucra un proceso químico complejo que permite obtener un material con alta resistencia y versatilidad para diferentes aplicaciones industriales. La obtención del PET comienza con la transformación de materias primas derivadas

del petróleo, que luego pasan por diversas etapas hasta convertirse en el material final utilizado en la fabricación de las preforma.

El tereftalato de polietileno (PET) se obtiene a partir de derivados del petróleo a través de un proceso de polimerización. Durante este proceso, los monómeros de etilenglicol y ácido tereftálico reaccionan para formar largas cadenas poliméricas de PET. Este material polimérico se somete posteriormente a una secuencia de procesos térmicos y mecánicos para mejorar sus propiedades para que posteriormente ser uso en la producción de las botellas y envases, asegurando así su idoneidad para aplicaciones industriales específicas; El PET pasa por un proceso de extraído y después de refinado donde se llega a la etapa de polimerización que después de pasar el proceso de inyección se obtiene como resultado gránulos que se denominan como Pellets(Pasquel Salas, 2024, p. 7).

### ***Preformas***

Las preforma son piezas intermedias en la producción de botellas o envases plásticos para bebidas gaseosas y agua. La empresa Tecnología del Plástico, (2023), la define de la siguiente forma:

Una preforma es un artículo fabricado de forma especializada que se utiliza como material base para la producción de botellas y envases de plástico. La preforma es una pieza que tiene una forma tubular, generalmente de plástico, y está diseñada para ser transformada en una botella mediante un proceso de moldeo por soplado. Las botellas de PET se fabrican en dos etapas: primero se hacen unas preformas y luego estas se calientan a la temperatura apropiada para que puedan ser sometidas a un proceso de soplado. Estos dos procesos se pueden combinar en una sola máquina o en dos máquinas separadas (parr.1-2).

Se entiende entonces que la fabricación de preformas de envases plásticos mediante resina PET es un proceso fundamental en la industria del envasado, que incluye etapas como la extrusión, moldeo por inyección y tratamiento térmico, las cuales deben cumplir estrictos estándares de calidad y eficiencia.

A continuación, se describe un esquema típico del proceso de inyección de preformas de PET, totalmente automatizado. Este proceso permite una mayor eficiencia y precisión en la producción de preformas.

1. Preparación del material: Los pellets de PET se secan (p. ej. a 165–170 °C) para eliminar humedad. Luego se alimentan automáticamente a la tolva de la inyectora.
2. Fusión e inyección: Dentro de la máquina, un tornillo sin fin funde el PET y lo empuja al molde multicavidad, donde se llena la forma de la preforma
3. Enfriamiento inicial: Una vez inyectado el PET, comienza el enfriamiento dentro del molde. Cuando ha solidificado parcialmente, un robot de *post-enfriamiento* entra en acción
4. Transferencia y enfriamiento adicional: Este robot automatizado extrae las preformas calientes del molde y las traslada a una cámara de enfriamiento externo. Allí las preformas se enfrían completamente hasta alcanzar su resistencia final.
5. Extracción y almacenamiento: Tras el enfriamiento final, el robot deposita las preformas terminadas en contenedores o cintas de traslado para su embalaje o alimentación a la máquina de soplado(BMI Machines, 2023, párr. 1-8).

En concordancia con lo descrito por BMI Machines, este ciclo automatizado elimina la necesidad de manipulación manual de piezas calientes. Al integrar robots de extracción y sistemas de enfriamiento automáticos, se reduce el tiempo de ciclo y el riesgo de deformaciones térmicas. Según los informes, la automatización con robot de post-enfriamiento “mejora la eficiencia y la calidad de las preformas” ya que minimiza errores humanos y garantiza piezas uniformes. En conjunto, el uso de autómatas o cobots dedicados para carga, descargue y control de calidad en la inyección asegura que cada preforma cumpla especificaciones estrictas antes del soplado, elevando notablemente la productividad de la línea(BMI Machines, 2023)

## **Evolución y Estado Actual de la Automatización en la Industria de Preformas de Envases**

### **PET en Colombia**

#### **Automatización: Acercamiento Conceptual**

En el ámbito industrial y la gestión de operaciones, la automatización se define como “la aplicación de tecnología, programas, robótica o procesos para lograr resultados con una intervención humana mínima”(IBM, 2021a, párr. 1); es decir, un proceso que implica el despliegue coordinado de diversas tecnologías con el fin de ejecutar tareas productivas de manera autónoma y optimizada. Según la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2024), “la automatización implica la aplicación de tecnología para realizar tareas y procesos de manera autónoma, lo que permite a las empresas mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad” (p. 12). Este enfoque no solo reduce la dependencia de la mano de obra en operaciones rutinarias, sino que también favorece la gestión de recursos y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Por su parte, Sanchis Llopis et al., (2020) hace referencia a la automatización como *automatismo* el cual se refiere específicamente a “una máquina o un proceso automatizado” capaz de responder automáticamente a variaciones en sus condiciones de operación, ejecutando de forma continua las acciones programadas para cumplir su función (p. 7). Los automatismos son, por tanto, componentes fundamentales de los sistemas de control industrial, pues garantizan la estabilidad y precisión de los procesos mediante retroalimentación constante y ajustes automáticos.

La automatización industrial, entendida como la integración sinérgica de sistemas automáticos y automatismos, abarca desde simples circuitos de control hasta complejas arquitecturas de planta inteligente. Estos sistemas regulan, supervisan y materializan las

operaciones industriales, posibilitando la implementación de fábricas inteligentes, caracterizadas por su capacidad de auto-optimización, adaptabilidad y mantenimiento predictivo. De este modo, la automatización sienta las bases para procesos de fabricación cada vez más flexibles, eficientes y sostenibles, al facilitar la recopilación de datos, el análisis predictivo y la interoperabilidad entre máquinas y sistemas de información (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024; Sanchis Llopis et al., 2020).

En otras palabras, la automatización industrial se entiende como la implementación de sistemas electrónicos, informáticos y mecatrónicos avanzados para controlar y supervisar procesos de producción con mínima intervención humana, integrar ordenadores, robots, sensores y actuadores para manejar la maquinaria y ejecutar tareas repetitivas de manera más eficiente, precisa y autónoma. Así, las operaciones rutinarias se realizan con mayor constancia y se estandariza la calidad de los productos. En la era de la Industria 4.0, esta definición incorpora además tecnologías ciberfísicas e Internet de las Cosas (IoT), de modo que las máquinas interconectadas pueden recopilar datos en tiempo real y optimizar continuamente los procesos (IBM, 2021c)

### **Datos Históricos sobre la Automatización en el Contexto Industrial**

La automatización industrial se originó en la Revolución Industrial y ha evolucionado con cada avance tecnológico, desde los motores de vapor hasta la era digital. Hitos como las líneas de montaje, la electrificación, el transistor (1947) y el Controlador Lógico Programable (1968) marcaron su desarrollo. Desde los años 80, la integración de la robótica, sistemas SCADA y software de gestión transformó los procesos productivos. En la actualidad, la Industria 4.0 incorpora inteligencia artificial, IIoT y conectividad total, permitiendo fábricas inteligentes y autónomas (IBM, 2021b; Pérez-López, 2015; Rozo-García, 2020).

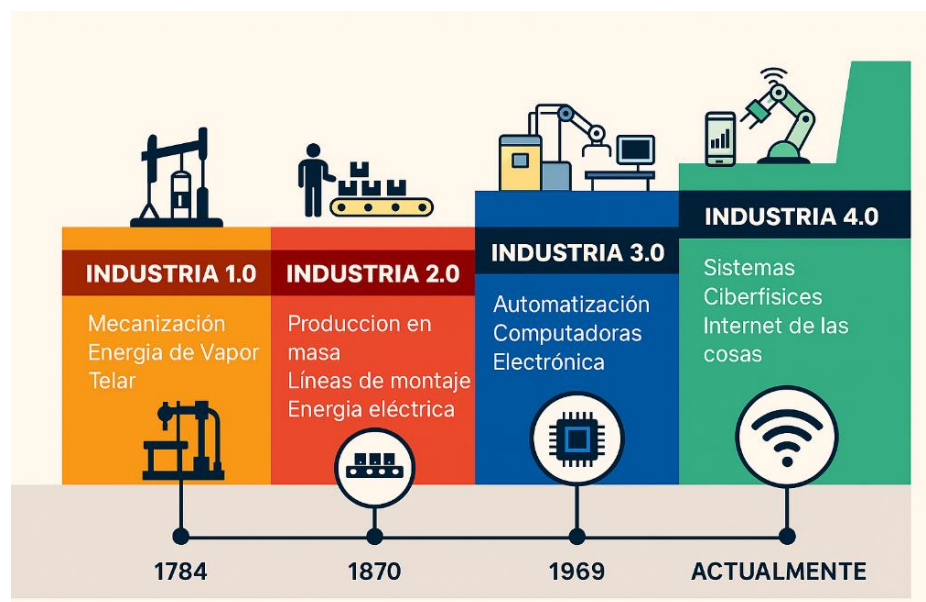
En la Primera y Segunda Revolución, dadas en los siglos XIX y principios del XX, se mecanizaron procesos con vapor, agua y electricidad. En la Tercera Revolución (años 1950-1980) se introdujeron la electrónica y la computación, permitiendo la introducción de controladores programables y robots industriales, estableciéndose con ellos el proceso de modernización de las formas de producción (Rozo-García, 2020).

Actualmente, en la era de la Cuarta Revolución Industrial o *Industria 4.0*, se fusionan los sistemas físicos y digitales mediante IoT, inteligencia artificial y ciberfísica, generando fábricas “inteligentes” donde las máquinas y procesos están interconectados (IBM, 2021a). Según Rozo-García, (2020), Industria 4.0 implica la digitalización de sistemas y procesos industriales con Internet de las Cosas e integración en la nube, con el fin de lograr entornos productivos más flexibles e individualizados; en este nuevo paradigma, las soluciones automatizadas se definen como sistemas “flexibles, inteligentes y totalmente autónomos”(2020, p. 176)

En este sentido, explica, la empresa Tecnología del Plástico, (2023), que la Industria 4.0 incorpora ciber-sistemas de supervisión y robótica avanzada que permiten una mayor automatización y adaptación de las fábricas. En conjunto, estos hitos históricos muestran cómo la automatización ha evolucionado de la mecanización inicial hasta la integración digital de hoy.

**Figura 1**

*Evolución de la Automatización Industrial en Cuatro Eras*



*Nota.* Adaptado de Rozo-García, (2020)

El propósito fundamental de la automatización industrial es incrementar la productividad y la calidad, así como mejorar la seguridad y sostenibilidad de los procesos. Al controlar procesos con precisión electrónica, se reducen los errores humanos y la variabilidad del producto. Además, los sistemas automáticos pueden operar las 24 horas sin fatiga, liberando al personal de tareas monótonas o peligrosas. Por ejemplo, un estudio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2024) resalta que la automatización “permite a las empresas mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad” (párr. 3). Según el mismo análisis, aquellas compañías que adopten estas tecnologías aumentan su productividad (hasta en un 30% o más) al eliminar errores humanos y agilizar procesos

### *Aplicaciones y Tecnologías Actuales*

La multinacional tecnológica IBM señala las diferentes aplicaciones y tecnologías que abarca la automatización industrial:

- **Robótica industrial:** brazos robóticos, vehículos guiados automáticamente (AGVs) y sistemas de ensamblaje automatizado que realizan soldadura, manipulación de materiales o empaquetado.
- **Sistemas de control:** Controladores Lógicos Programables (PLC) y sistemas SCADA/HMI que integran sensores y actuadores para supervisar en tiempo real variables como temperatura, presión o velocidad.
- **Internet Industrial de las Cosas (IIoT):** Sensores conectados en red y plataformas de nube que recogen y analizan datos de producción para optimizar procesos y habilitar mantenimiento predictivo.
- **Inteligencia Artificial y Big Data:** Algoritmos de machine learning aplicados al análisis de datos industriales permiten detectar anomalías, optimizar procesos en línea y mejorar la eficiencia operativa.
- **Visión artificial y sensores avanzados:** Sistemas de inspección automática y visión por computadora que verifican la calidad de productos a alta velocidad.
- **Otras tecnologías emergentes:** Fabricación aditiva (impresión 3D) para prototipos y piezas personalizadas, realidad aumentada/virtual para mantenimiento y entrenamiento, y gemelos digitales (simulaciones virtuales) de procesos industriales (2021a, 2021b).

En conjunto, estas soluciones permiten a las plantas de producción operar con altos niveles de automatización, conectividad y análisis de datos, potenciando una fabricación inteligente.

## **Automatización Industrial en Colombia: Historia y Enfoque en el Sector Plástico**

De acuerdo con información del Banco de la República, la industrialización formal en Colombia inició en la década de 1930, décadas después que en otros países latinoamericanos. Desde entonces, la automatización se fue incorporando gradualmente en los sectores productivos más importantes del país (petroquímico, agroindustrial, alimentos, metalmecánico, entre otros). Aunque hubo una adopción temprana de la automatización, su evolución fue lenta: solo en la segunda mitad del siglo XX las grandes empresas colombianas empezaron a usar controladores electrónicos (por ejemplo, sistemas SCADA y PLCs) para mejorar la eficiencia y seguridad de sus plantas. (Echavarría & Villamizar-Villegas, 2006)

En las últimas décadas, la industria colombiana ha enfrentado importantes desafíos en materia de adopción tecnológica, capacitación del talento humano y formulación de políticas públicas coherentes con la transformación digital. Uno de los principales obstáculos ha sido la limitada oferta de profesionales con formación técnica y tecnológica en automatización industrial, lo cual ha generado una brecha entre las necesidades de la industria y la disponibilidad de capital humano especializado (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024)

Adicionalmente, la falta de políticas estatales sólidas y sostenidas en ciencia, tecnología e innovación ha restringido el desarrollo de capacidades industriales locales. Esta carencia ha contribuido a que el país mantenga una alta dependencia de la exportación de materias primas con bajo valor agregado, en lugar de consolidar sectores manufactureros avanzados (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024). Tal como advierte el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, "preocupa el rezago de Colombia en I+D, y en inteligencia artificial en particular. Nuestro promedio histórico de gasto en esos frentes es inferior al 0,3% del PIB, y con

cada revolución tecnológica del último siglo y medio el país retrocedió varios peldaños, ampliando la brecha digital con las naciones prósperas" (MinCiencia, 2020, p. 38)

Aunque algunas grandes compañías han incorporado tecnologías inteligentes, la modernización de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) sigue siendo limitada. Factores como la resistencia al cambio, la escasa conciencia de los beneficios de la automatización y la falta de personal cualificado mantienen la tasa de adopción tecnológica por debajo del promedio latinoamericano (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024)

En el siglo XXI, la automatización industrial se integra al paradigma de la Industria 4.0, que agrupa tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial, robótica avanzada y análisis de datos. Este concepto, definido en 2011 durante la Feria de Hannover (Alemania), inauguró una nueva era de digitalización en la manufactura global (MinCiencia, 2020)

Para responder a estos desafíos, Colombia ha impulsado iniciativas público-privadas. En 2019 se inauguró en Medellín el Centro para la Cuarta Revolución Industrial de Colombia, en alianza con el Foro Económico Mundial. Su misión es diseñar marcos normativos y políticas sobre tecnologías emergentes—IA, blockchain y automatización inteligente—para optimizar beneficios y mitigar riesgos sociales y económicos (World Economic Forum, 2019).

De igual modo, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) implementó el programa Retos 4.0, que ha promovido soluciones digitales en empresas nacionales, reportando aumentos de hasta 58,6 % en productividad y reducciones de 79 % en costos operativos (MINTIC, 2023).

A continuación, se referencia de manera cronológica los hitos más relevantes de la historia de la automatización industrial en Colombia.

1930s: Inicia la industrialización en Colombia, mucho después que países vecinos. Se consolidan industrias textiles, alimentarias y de producción básica, incorporando progresivamente maquinaria eléctrica y de control básico.

1960s-1970s: Incorporación de primeros sistemas de control electrónico. A nivel mundial surge la automatización programable (controles numéricos, antecesores de los PLC); en Colombia, el sector industrial moderno alcanza su máximo dinamismo antes de estancarse

1980s-1990s: Introducción de PCs y sistemas SCADA. El uso de autómatas programables (PLCs) y sistemas de supervisión digital mejora la eficiencia en refinerías, cementeras y fábricas. Sin embargo, desde finales de los 80 y durante los 90 la productividad industrial crece lentamente por falta de inversión tecnológica

2011: Se define el concepto *Industria 4.0* en Hannover, marcando un nuevo paradigma de automatización inteligente. Comienzan en Colombia iniciativas para la transformación digital de la industria.

2019: Colombia inaugura el *Centro para la Cuarta Revolución Industrial* en Medellín, primer centro de su tipo en América Latina. Este hito institucional busca impulsar políticas de IA, IoT y robótica en la industria nacional.

2020: La pandemia de COVID-19 acelera la automatización en las fábricas colombianas, al reducir disponibilidad de mano de obra y necesidad de operar de forma remota. Sectores como alimentos, farmacéutico y químicos implementan más robótica y monitoreo digital para asegurar continuidad de operaciones

2022-2024: El país registra casos de éxito en adopción de automatización. Por ejemplo, la empresa farmacéutica Procaps reportó un 20% más de productividad tras instalar robots en su línea de producción. Al mismo tiempo, programas oficiales (como *Retos 4.0*) continúan

apoyando a las empresas en modernización tecnológica (Canal Trece, 2018; Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024; Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2020; MINTIC, 2023; World Economic Forum, 2019)

A lo largo del tiempo, la automatización industrial en Colombia ha pasado de ser una implementación pionera en grandes firmas a un fenómeno cada vez más transversal en la economía. Si bien el país partió de un rezago inicial, hoy existen bases institucionales y de conocimiento que promueven su desarrollo. En definitiva, la evolución ha sido sostenida pero irregular: con cada revolución tecnológica se han dado pasos adelante, pero la adopción generalizada depende de factores económicos, educativos y de políticas públicas. Se prevé que el futuro de la automatización colombiana estará marcado por la consolidación de la Industria 4.0 y por la capacidad del país para formar talento especializado y difundir estas tecnologías en todos los sectores productivos

### ***Contexto de la Automatización en la Industria Plástica Colombiana***

La industria química y plástica en Colombia surgió en la época de la Segunda Guerra Mundial, cuando el país buscó producir internamente bienes antes importados. En las décadas de 1950 y 1960 se crearon las primeras plantas nacionales de transformación plástica, adaptando tecnología extranjera básica, se fundó Acoplásticos como agremiación del sector, lo que facilitó la asignación de divisas para importar maquinaria e insumos claves. Estas empresas iniciales aplicaban ya conceptos de eficiencia y automatización rudimentaria, como controles simples en inyectoras y extrusoras (Porter & Emmons, 2003).

Desde entonces, la industria plástica colombiana ha integrado gradualmente sistemas automatizados en sus procesos de fabricación. Maquinaria moderna de inyección y soplado automatizado permite fabricar preformas y envases con mayor precisión y eficiencia. Por

ejemplo, empresas cerveceras locales utilizan brazos robóticos en líneas de embalaje (como la fábrica de Corona en Mosquera) y la industria automotriz emplea robots en ensamblaje (por ejemplo, plantas de Mazda) (Canal Trece, 2018). En el sector de los empaques PET, los datos del propio gremio plástico indican que la incorporación de tecnologías 4.0 (automatización, robótica, IoT, IA) se considera clave para aumentar la productividad y la sostenibilidad (ColombiaPlast, 2024). Según reportes recientes, la mayoría de los robots industriales instalados en Colombia se dedica a la producción de plástico y químicos, evidenciando que el sector busca mejorar la estandarización, el control de procesos y la relación con la economía circular (Cornejo et al., 2023).

No obstante, persisten desafíos: estudios académicos señalan que muchas PYMES del sector manufacturero (incluyendo las ligadas al plástico) aún no adoptan plenamente la automatización por barreras de infraestructura y costo (Muñoz-Pinzón et al., 2024). Ante este escenario, ferias especializadas y programas públicos fomentan la inversión en automatización. De acuerdo con información de ColombiaPlast, (2024), se espera que la adopción de tecnologías 4.0 en la industria plástica crezca significativamente en la próxima década; apuntando a plantas de producción más conectadas y con automatización integral, en línea con las metas de productividad del país.

A continuación, se destacan varios hitos clave que marcan la evolución de la automatización de la industria del plástico en Colombia:

1961: Fundación de ACOPLÁSTICOS, gremio de la industria plástica, para promover la importación de maquinaria y la capacitación técnica del sector. Esta asociación sería fundamental para orientar el desarrollo tecnológico de las industrias plásticas nacionales (Porter & Emmons, 2003).

2010: Creación de *Colombiana de PET* en Sabaneta (Antioquia), orientada a producir envases cosméticos y farmacéuticos. La compañía destaca el uso de “tecnología de punta, máquinas inyectoras de alta eficiencia y sopladoras automáticas” en la fabricación de preformas PET(Colombiana de Pet, 2025)

2014: En Colmotores (General Motors Colombia) se arma y programa localmente el primer robot industrial 100% ensamblado en Colombia, reduciendo la dependencia de técnicos extranjeros(Metalmecánica, 2014). Este hecho simboliza la capacitación de talento local para automatización.

2018: En el país operan ya varias integradoras robóticas. Por ejemplo, Robotika S.A.S. se consolida como la primera empresa colombiana enfocada totalmente en automatización con robots industriales, destacándose en integración de células robotizadas de marcas líderes(Robotika, 2021).

2019: Colombia inaugura el *Centro para la Cuarta Revolución Industrial* en Medellín, en alianza con el Foro Económico Mundial, Ruta N y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Esta iniciativa institucional marca el impulso oficial a la transformación digital y automatización de la industria nacional (World Economic Forum, 2019).

2023: Un informe tecnológico reporta que Colombia contaba con cerca de 500 robots industriales instalados en sus plantas productivas. De éstos, la mayoría se concentra en la industria plástica y química (por ejemplo, unos 49 robots en aplicaciones plásticas), reflejando la creciente integración de la robótica en estas áreas productivas(World Economic Forum, 2019).

2024: En la feria *Colombiaplast 2024* se enfatiza la necesidad de incorporar automatización, robótica e Internet de las Cosas para modernizar el sector plástico nacional. En esta edición se destaca que Colombia ocupa el puesto 79 en adopción de tecnologías 4.0 a nivel

mundial, lo que impulsa al gremio a acelerar la transformación digital del sector (ColombiaPlast, 2024).

### ***Sector de Preformas Plásticas en Colombia***

La producción de preformas de PET (materia prima para botellas plásticas) es un sub-sector importante de la industria plástica nacional. Estas preformas se fabrican mediante inyección de plástico PET en moldes automatizados y suelen ser procesadas en líneas de soplado automatizadas para obtener los envases finales. Diversas empresas colombianas se han especializado en este nicho, invirtiendo en maquinaria de alta tecnología. Entre las principales productoras de preformas figuran:

TP Colombia S.A.S. – Empresa bogotana que fabrica preformas PET y tapas de polietileno. Destaca el uso de “*equipos de tecnología de punta*” y materiales certificados en su proceso productivo. Opera líneas modernas de moldeo por inyección para distintos volúmenes y diseños de preforma (TP Colombia, 2025).

RPM Colombia – Fábrica de envases plásticos ubicada en Bogotá. Según su información corporativa, el crecimiento reciente en la demanda de preformas llevó a RPM a ser “*un importante contribuyente en la industria del plástico*”. Ofrece preformas transparentes y coloreadas fabricadas con resina nueva y reciclada, cubriendo un amplio rango de pesos (desde ~10 g hasta 670 g) (RPM Colombia, 2025)

Colombiana de PET – Fundada en 2010 en Sabaneta (Antioquia) para suplir envases plásticos de alta calidad en la industria cosmética y farmacéutica. Emplea tecnología automatizada, con “*máquinas inyectoras de alta eficiencia y sopladoras automáticas*”, especializándose en inyección de preformas PET de terminación cosmética (Colombiana de Pet, 2025).

Iberplast S.A.S. – Empresa con sede en Mosquera (Cundinamarca), reconocida por su trayectoria en la fabricación de preformas PET, botellas y tapas. Cuenta con líneas de producción automatizadas y modernas inyectoras que permiten mantener altos estándares de calidad y eficiencia operativa. Iberplast ha orientado parte de su operación hacia la sostenibilidad, incorporando tecnologías que optimizan el uso de energía y materiales reciclados (IberPlast, 2025).

Profundizando un poco en información de Iberplast S.A.S, se pudo encontrar que a lo largo de más de tres décadas, esta empresa filial de la reconocida marca Postobón ha llevado su nivel de automatización en la producción de preformas PET desde los pioneros moldes HUSKYS XL de 1989 —capaces de 32 cavidades por minuto con controles básicos— hasta las avanzadas líneas HUSKY HPP 5G de 2024, que inyectan 144 cavidades en tan solo nueve segundos con monitoreo en tiempo real y corrección automática de calidad. En 1991, la incorporación de las HUSKY GL redujo el ciclo de moldeo de 60 a 45 segundos y elevó el rendimiento a 48 preformas por ciclo; en 1993, las HUSKY HYPET alcanzaron 72 unidades en 30 segundos y mejoraron la precisión dimensional; y en 1997, las HUSKY HYPET 400, con automatización optimizada, produjeron 96 cavidades en 20 segundos, reduciendo el desperdicio y la necesidad de mano de obra(IberPlast, 2025).

Para 2005, ajustes en la automatización mantuvieron las 96 cavidades e incluso acortaron el ciclo a 15 segundos; un año después, un nuevo modelo de la misma serie elevó la producción a 128 cavidades en 12 segundos, consolidando a Iberplast-Postobón como líder nacional. Finalmente, la adopción de las HPP 5G en 2024 marcó el máximo nivel de automatización: ciclos ultrarrápidos, evaluación continua de calidad y minimización de rechazos, garantizando eficiencia, sostenibilidad y coherencia con las demandas más exigentes del mercado(IberPlast, 2025).

En conjunto, las productoras de preformas en Colombia han incorporado sistemas automatizados de inyección (servo-motores, control computarizado) y células robotizadas de manejo y empaquetado para mejorar la producción. Estos avances tecnológicos permiten ciclos

de moldeo más rápidos, mayor precisión geométrica y ahorro energético. Además, la industria plástica en general promueve la reducción de peso de preformas y su reciclabilidad, apoyándose en procesos eficientes y monitoreo automático de calidad(FADE.SAS, 2025).

En resumen, la automatización industrial en el sector de preformas plásticas PET operan empresas con equipos de última generación, esto demuestra que este sector ha ido avanzando gradualmente, con un creciente foco en integrar tecnologías de la Industria 4.0; esto se traduce en plantas más digitalizadas y automatizadas, lo que a su vez refleja una tendencia hacia mayor competitividad y sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana.

## **Principales Impactos de la Automatización en la Industria de Preformas Plásticas en Términos Operativos, Tecnológicos, Ambientales y Económicos**

La industria del plástico en Colombia es dinámica y estratégicamente importante, de acuerdo con datos de Baquero Latorre, (2024), se consumen más de un millón de toneladas anuales de polímeros, de las cuales aproximadamente el 56 % se destina a envases y empaques (incluidas preformas PET). Este subsector ha visto inversiones crecientes en maquinaria y modernización tecnológica para ampliar capacidad productiva. En este contexto nacional, la automatización e Industria 4.0 se consideran claves para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector (Baquero Latorre, 2024; Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024). A continuación, se analizan los impactos de la automatización en la fabricación de preformas PET en Colombia desde las perspectivas operativa, tecnológica, ambiental y económica.

### **Impactos Operativos**

La automatización de procesos en la industria de preformas PET ha desencadenado mejoras sustanciales en la eficiencia operativa, el rendimiento productivo y la calidad del producto final. Entre los principales impactos destacan el aumento significativo en la tasa de producción, gracias a la operación continua habilitada por celdas robotizadas y sistemas PLC/SCADA; la reducción de tiempos muertos y errores humanos; el mejoramiento en la manipulación interna de materiales mediante vehículos guiados automáticamente (AGV) y brazos robóticos, lo cual disminuye daños por manejo inadecuado; y una mayor precisión en el control de parámetros de moldeo, lo que reduce la variabilidad entre preformas y minimiza los reprocesos. En conjunto, estos factores permiten optimizar los ciclos de producción, logrando volúmenes más altos con menor intervención humana, menores costos operativos y un entorno

más seguro para el personal (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024; Parabor, 2025).

Una de las tecnologías más influyentes en esta transformación ha sido la integración de celdas robotizadas junto con sistemas de control PLC y SCADA, que permiten una operación autónoma y continua de la planta. Estos sistemas, al operar 24/7 con mínima intervención humana, eliminan paradas innecesarias, maximizan el tiempo de actividad y reducen la dependencia de turnos de trabajo humanos. Como afirma la Escuela Colombiana de Ingeniería (2024), la automatización ha permitido elevar la productividad en al menos un 30 %, al reducir la incidencia de errores humanos y optimizar los tiempos de ciclo. Esto convierte a la automatización no solo en una solución tecnológica, sino también en una estrategia clave para responder a las exigencias de un mercado altamente competitivo.

Además, el uso de robots de extracción y vehículos autónomos (AGV) dentro de la planta ha redefinido la logística interna. Estas herramientas permiten transportar, ordenar y extraer preformas sin intervención humana, reduciendo así los daños ocasionados por mal manejo manual y mejorando las condiciones ergonómicas y de seguridad en la planta. La incorporación de AGVs ha disminuido la necesidad de transporte manual en un 70 %, reduciendo accidentes laborales y aumentando la eficiencia logística. Este cambio también permite reasignar personal hacia funciones de mayor valor agregado, alineando la automatización con políticas de reconversión laboral (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024; Parabor, 2025; Silva Siu, 2023).

En términos de control de calidad, la automatización permite ajustar con precisión los parámetros de moldeo (presión, temperatura, tiempo de ciclo), lo que se traduce en una menor variabilidad entre piezas y una mayor uniformidad en las preformas producidas. Esta precisión

técnica contribuye a una mayor eficiencia del proceso, disminuye los residuos de producción y fortalece la reputación del producto ante los clientes(Parabor, 2025).

Finalmente, la suma de estos avances se refleja en la optimización general del ciclo productivo, desde la alimentación de materia prima hasta el apilamiento automatizado de las preformas terminadas. Al integrar tecnologías que reducen fallos, eliminan demoras y maximizan la velocidad de respuesta ante cambios en el proceso, se logran costos operativos más bajos y mayores volúmenes de producción, sin comprometer la calidad ni la sostenibilidad operativa del sistema. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024)

En conclusión, los impactos productivos de la automatización en la industria de preformas PET representan una evolución estructural del modelo industrial tradicional. La conjunción de sistemas de control autónomo, robots de manipulación, monitoreo de parámetros y operaciones continuas permite una producción más ágil, segura y rentable, haciendo de la automatización un pilar fundamental para la transformación industrial en Colombia y América Latina.

### **Impactos Tecnológicos**

En el plano tecnológico, la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 transforma la infraestructura tecnológica de la planta de preformas, aunque la implementación de se esté dando de forma paulatina con respecto a otros países, la digitalización de las plantas a través de las distintas tecnologías emergentes, supones significativos impactos para el proceso de fabricación de preformas que permiten: una mayor eficiencia operativa mediante la monitorización en tiempo real de variables críticas; se incrementa la calidad del producto gracias a sistemas inteligentes de inspección; se optimiza el mantenimiento a través de análisis predictivos; y se acelera el desarrollo de moldes y prototipos con herramientas de diseño digital.

De acuerdo con información de IBM, (2021b); Parabor, (2025); Silva Siu, (2023) Uno de los pilares tecnológicos de este cambio son los sistemas ciber-físicos, compuestos por sensores IoT, controladores PLC y plataformas SCADA. Estos sistemas permiten supervisar constantemente variables como la temperatura, la presión o la velocidad de inyección, y ajustar automáticamente los parámetros del proceso en función de las condiciones reales. Gracias a esta capacidad de respuesta en tiempo real, se reduce la variabilidad en la producción y se asegura una mayor uniformidad en las preformas, lo cual repercute directamente en la calidad final del producto.

En paralelo, los sistemas inteligentes de control de calidad como la visión artificial, el análisis de datos y los algoritmos predictivos están revolucionando la forma en que se detectan defectos. Las cámaras de inspección colocadas en las líneas de producción identifican de inmediato anomalías superficiales o estructurales en las preformas, lo que evita que productos defectuosos lleguen a etapas posteriores o incluso al cliente. Además, los algoritmos pueden identificar patrones en los defectos, permitiendo acciones correctivas más eficaces(IBM, 2021b; Parabor, 2025).

Sostiene Parabor, (2025) que otro avance crucial ha sido la digitalización de la línea de producción, basada en tecnologías como Big Data, analítica avanzada y los gemelos digitales. Estas herramientas permiten simular el comportamiento de la planta en entornos virtuales, prever fallos y tomar decisiones basadas en datos históricos y en tiempo real. En consecuencia, el mantenimiento deja de ser reactivo para volverse preventivo y, en muchos casos, predictivo, reduciendo al mínimo las interrupciones no planificadas que afectan la eficiencia global del sistema (párr. 5).

Finalmente, las tecnologías complementarias como CAD e impresión 3D están redefiniendo el diseño de moldes y prototipos. El modelado tridimensional facilita iteraciones más rápidas y precisas en el diseño de nuevas preformas, mientras que la fabricación aditiva permite crear prototipos funcionales en cuestión de horas. Esto acorta considerablemente los ciclos de desarrollo, reduce costos y favorece la personalización del producto según las necesidades del mercado (IBM, 2021b; Parabor, 2025).

En definitiva, la integración de todas estas tecnologías convierte la automatización en una estrategia clave para alcanzar una manufactura inteligente, capaz de adaptarse dinámicamente a los cambios del entorno productivo y a las exigencias del mercado. La industria de preformas PET, al incorporar estas innovaciones, no solo mejora sus indicadores de eficiencia y calidad, sino que también da un paso firme hacia una industria 4.0 verdaderamente consolidada.

### **Impactos Ambientales**

La automatización industrial no solo ha mejorado la eficiencia operativa en la fabricación de preformas PET, sino que también ha generado beneficios ambientales tangibles. En primer lugar, permite una optimización del consumo energético a través de sistemas inteligentes que ajustan la operación de motores, calentadores y unidades de enfriamiento para reducir la demanda eléctrica por unidad producida. Además, el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real mediante IoT energético permite detectar sobreconsumos o fallos que, si no se corrigen, podrían traducirse en pérdidas de energía y emisiones innecesarias de carbono. Por otra parte, la automatización mejora la eficiencia en el control de calidad, reduciendo la generación de residuos al minimizar la producción de piezas defectuosas. Finalmente, al habilitar procesos de reciclaje interno y trazabilidad, las tecnologías de Industria 4.0 pueden integrarse a modelos de economía circular, permitiendo un manejo más responsable de los recursos. Sin embargo,

también es importante considerar que los propios sistemas automatizados requieren materiales específicos (como metales raros y componentes electrónicos), y que su operación consume energía adicional, lo cual plantea nuevos retos ambientales para su implementación sostenible (Santos Lozano, 2022; Tecnología AIJU, 2024)

Uno de los impactos más evidentes es la reducción del consumo energético por unidad producida. Gracias a la incorporación de motores servoeléctricos, calentadores de alta eficiencia y sistemas de enfriamiento optimizados, las plantas automatizadas logran regular con precisión el uso de energía en cada etapa del proceso de inyección. Según Tecnología AIJU, (2024) “la automatización ha permitido reducir entre un 12 % y un 20 % el consumo eléctrico en líneas de producción de preformas PET al incorporar sistemas adaptativos de regulación térmica” (p. 19). Esta eficiencia no solo contribuye a la reducción de costos operativos, sino también a la disminución de emisiones asociadas al uso intensivo de electricidad en el sector industrial.

Complementando esta mejora, el uso de tecnologías IoT para gestión energética permite el monitoreo constante de consumos y la detección temprana de anomalías en moldes o zonas de calentamiento. De acuerdo con un estudio realizado por Santos Lozano, (2022), los sensores conectados en redes de automatización energética “han posibilitado alertas de sobreconsumo y ajuste automático en tiempo real de parámetros críticos”, lo cual optimiza los recursos y mejora el desempeño ambiental de la planta (p. 38). Estas acciones preventivas no serían posibles sin la capacidad de recolección y análisis continuo de datos que ofrecen los entornos industriales digitalizados.

Otro beneficio ambiental clave es la disminución de residuos plásticos durante la producción. Al mejorar la precisión en el moldeo y el control automático de parámetros, la automatización reduce la variabilidad entre piezas y, por tanto, los rechazos. Esto implica un uso

más racional de la resina PET y una menor necesidad de reprocesamiento. Según cifras de Santos Lozano, (2022), “las tasas de desperdicio se reducen de un 4 % a menos del 1,5 % en plantas automatizadas con sistemas de control de calidad en línea” (p. 41). Esta mejora no solo beneficia al medio ambiente, sino que también incide en la rentabilidad del proceso.

Además, la automatización puede facilitar el reciclaje interno y la integración con modelos de economía circular, especialmente cuando se incorporan tecnologías de trazabilidad y separación automática de materiales (Babaremu et al., 2022). Santos Lozano, (2022), destaca que “la Industria 4.0 permite reintroducir residuos controlados en la línea de producción, fomentando un proceso de ciclo cerrado que reduce el impacto ambiental total” (p. 24). En Colombia, esta capacidad se alinea con los objetivos de sostenibilidad que promueven el uso de PET reciclado y la reducción de efluentes industriales.

No obstante, también es necesario reconocer las externalidades ambientales de la automatización misma. La fabricación de sensores, controladores y equipos robotizados implica el uso de metales y componentes electrónicos que pueden tener un alto costo ecológico en su extracción y disposición final. Adicionalmente, las redes eléctricas inteligentes requieren energía para operar, lo que añade una nueva capa de consumo al sistema industrial (Santos Lozano, 2022). Por ello, es fundamental que las políticas de implementación tecnológica consideren estos impactos y apunten a soluciones energéticamente compensadas.

En conclusión, la automatización aplicada a la fabricación de preformas PET ofrece una vía concreta hacia la sostenibilidad ambiental en la industria plástica. Si bien existen impactos asociados a los propios sistemas automatizados, los beneficios en eficiencia energética, reducción de residuos y habilitación del reciclaje justifican su adopción como parte de una

estrategia de desarrollo industrial responsable y alineada con los principios de la economía circular.

### **Impactos Económicos**

Desde el punto de vista económico, la automatización eleva la competitividad del sector al reducir costos y aumentar la capacidad productiva. Al eliminar tareas manuales rutinarias, las empresas pueden reubicar personal en labores de mayor valor, mientras que las máquinas automatizadas operan sin descansos, incrementando el volumen de ventas sin elevar proporcionalmente los gastos operativos. De hecho, la integración de I4.0 en manufactura plástica suele traducirse en menores costos de producción (menor consumo de materia prima y energía por preforma) y en una mejora de la calidad que reduce pérdidas económicas por fallos (Baquero Latorre, 2024; Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2024; Parabor, 2025).

Además, la modernización tecnológica suele atraer inversión: se han registrado aumentos en inversión de capital en maquinaria de inyección avanzada en Colombia, lo que fortalece el crecimiento del sector. No obstante, la automatización implica retos sociales: estudios regionales señalan que, aunque aumenta la productividad industrial en hasta un 30 % también puede generar desempleo en las tareas más mecanizables, requiriendo políticas de capacitación para la fuerza laboral. En el largo plazo, se espera que la expansión de la capacidad de producción colombiana impulse sus exportaciones de envases PET, beneficiándose de la demanda global (Bibow et al., 2025; Plastico, s. f.; Silva Siu, 2023). En resumen, la automatización ofrece mayor valor agregado por preforma fabricada y abre nuevas oportunidades de negocio, pero exige planificar el impacto laboral y social del cambio tecnológico.

## **Diferencias entre los Procesos Automatizados y los Convencionales, Determinando Ventajas, Limitaciones y Áreas de Oportunidad en Cada Enfoque**

La fabricación de preformas de PET (preformas para envases) se realiza principalmente mediante moldeo por inyección de plástico. En concordancia con Czepiel et al., (2023) este proceso clásico consiste en fundir pellets de PET e inyectarlos en moldes para formar la preforma, que luego se estira y sopla hasta obtener la botella final. Para desarrollar este proceso de forma convencional se suelen emplear máquinas hidráulicas tradicionales con mano de obra manual para cargar material, retirar piezas y controlar parámetros, mientras que procesos automatizados integran robots, sistemas de visión, PLCs y máquinas eléctricas avanzadas (servomotores) para controlar todo el ciclo automáticamente.

La literatura destaca que el moldeo por inyección brinda alta precisión, velocidad y repetitividad, apto para producción en masa. Con la industria 4.0 y la exigencia de rendimiento, las plantas de PET han adoptado gradualmente soluciones automatizadas (robótica y control inteligente) que aumentan la eficiencia y calidad. En este contexto, compararemos ambos enfoques –convencional vs. automatizado– en términos tecnológicos, ambientales, productivos, económicos, de empleo y sostenibilidad (Czepiel et al., 2023).

### **Procesos Convencionales en la Fabricación de Preformas de PET**

Los procesos convencionales de fabricación de preformas de PET suelen involucrar un alto grado de intervención manual, desde la alimentación de materia prima hasta el control de calidad. Para desarrollar este proceso de forma convencional se suelen emplear máquinas hidráulicas tradicionales con mano de obra manual para cargar material, retirar piezas y controlar parámetros, mientras que procesos automatizados integran robots, sistemas de visión, PLCs y máquinas eléctricas avanzadas (servomotores) para controlar todo el ciclo automáticamente.

Teniendo en cuenta diferentes autores como Babaremu et al., (2022); Plastics Technology México, (2025); Robotic & automation, (2022) se estructuran las ventajas y limitaciones que contienen el proceso convencional de elaboración de preformas PET.

### ***Ventajas de Procesos Convencionales***

**Baja inversión inicial:** Las máquinas hidráulicas tradicionales suelen costar menos que las automatizadas de última generación. Para empresas pequeñas o producciones a baja escala, el CAPEX es menor.

**Flexibilidad operacional:** Cambios rápidos de lote o prueba de nuevos productos pueden implementarse fácilmente con intervención humana. La adaptación de moldes o parámetros se hace en planta sin necesidad de programar sistemas complejos.

**Empleo intensivo:** Generan más puestos de operador y auxiliares, aprovechando mano de obra disponible y reduciendo costos de tecnología avanzada.

### ***Limitaciones de Procesos Convencionales***

**Menor productividad:** Al depender del operador, los ciclos son más lentos y hay pausas para carga/descarga manual, elevando el tiempo ciclo.

**Calidad variable:** Los procesos manuales tienden a mayor variabilidad; pequeños errores humanos pueden provocar inconsistencias en las preformas (peso, dimensiones).

**Desperdicio de material:** Sin controles automáticos precisos, es más difícil optimizar la dosificación y reducir Scrap. El proceso convencional origina más rechazos por sobre inyección o defectos.

**Consumo energético superior:** Las máquinas hidráulicas tradicionales consumen más energía que las eléctricas o servo-eléctricas modernas, lo cual aumenta costos de operación y huella ambiental.

Limitaciones de escalabilidad: Para aumentar la producción, se requieren más operarios y equipos adicionales. La productividad crece menos eficientemente que con un sistema automatizado integrado.

### **Procesos Automatizados en Producción de Preformas PET**

En contraste, los procesos automatizados incorporan robots (para carga/descarga de moldes), transportadores motorizados, sistemas de visión y sensores de monitoreo. Se emplean máquinas de inyección servo-eléctricas de alta eficiencia energética conectadas a controles PLC y software MES/SCADA que gestionan la producción en tiempo real. En una línea típica automatizada, la preforma moldeada puede ser transferida directamente al ciclo de soplado o inspeccionada automáticamente, reduciendo intervención manual (BMI Machines, 2023; Robotic & automation, 2022).

#### ***Ventajas de Procesos Automatizados***

Alta productividad y velocidad: La robotización y sincronización de equipos permiten ciclos más cortos y operación continua 24/7. Según expertos, la automatización incrementa significativamente la productividad, la precisión del moldeo y la repetibilidad, mientras reduce costos operativos (Czepiel et al., 2023).

Calidad constante: El control automático de parámetros (temperatura, presión, tiempos) y la detección de errores con visión computarizada minimizan defectos. Se logra uniformidad en todas las preformas sin variaciones humanas (Czepiel et al., 2023).

Ahorro de costos operativos: A largo plazo, reducen la mano de obra directa; varios estudios señalan que la automatización reduce costos laborales al requerir menos supervisión humana (Czepiel et al., 2023). Además, el uso de máquinas servo-eléctricas ahorra energía (~30–70% menos que hidráulicas), disminuyendo gastos de electricidad (Robotic & automation, 2022).

Sostenibilidad mejorada: La automatización optimiza el uso de materia prima, generando menos desechos y scrap. También facilita la implementación de tecnologías limpias (por ejemplo, recirculación de calor de moldes). Czepiel et al. destacan que el moldeo por inyección contribuye al desarrollo sostenible al reducir consumo de materia prima y minimizar residuos.

Digitalización y monitoreo: El sistema automatizado se integra con IoT e Industria 4.0. Esto permite análisis de datos en tiempo real para mantenimiento predictivo y mejora continua. Según un estudio reciente, las “Smart Factories” industriales tienen tres pilares clave: analítica de datos, automatización y estructuras modulares en los cuales el sector de plástico muestra alta predisposición(Bibow et al., 2025)

### ***Limitaciones de Procesos Automatizados***

Alta inversión inicial: Las líneas automatizadas requieren un desembolso mayor en maquinaria (robots, máquinas servoeléctricas, sensores, software). Este CAPEX puede ser prohibitivo para empresas pequeñas. Sin embargo, con el tiempo se compensa por mayor eficiencia operativa(BMIMachines, 2023).

Complejidad técnica: Se necesita personal calificado en electrónica y programación para mantener los sistemas. Reparaciones o ajustes dependen de especialistas, lo que puede aumentar la dependencia de soporte técnico(Tecnología del Plástico, 2023b).

Rigidez para cambios pequeños: Al diseñar celdas robotizadas, optimizadas para un producto específico, los cambios frecuentes de moldes o diseños pueden requerir reconfiguración compleja, a diferencia del método manual muy adaptable(BMI Machines, 2023).

Riesgos de obsolescencia: La rápida evolución tecnológica puede hacer que un sistema automatizado quede obsoleto en pocos años, requiriendo actualizaciones o reemplazos para seguir siendo competitivo.

**Tabla 1***Comparativo Proceso Convencional vs Proceso Automatizado*

Enfoque / Variable	Procesos Convencionales	Procesos Automatizados
<b>Ambiental</b>		
Ventajas	Simplicidad de equipo, menor consumo de recursos en instalación. Posibilidad de incorporar manualmente PET reciclado.	Máquinas servo-eléctricas con 30–70 % menos consumo energético. Detección automática de defectos, reduce scrap y emisiones asociadas.
Limitaciones	Mayor consumo energético (hidráulicas vs. servoeléctricas). Más scrap por falta de control preciso, aumenta residuos.	Mayor huella ambiental inicial por fabricación de robots y dispositivos.
Áreas de oportunidad	Sensores básicos de temperatura y flujo de aire para optimizar consumo. Protocolos de recuperación de calor manual.	Integrar energías renovables (solar, eólica). Sistemas de reciclaje inline de rPET con ajuste automático de receta.
<b>Tecnológico</b>		
Ventajas	Tecnología probada, fácil mantenimiento con personal general. Flexibilidad para cambios de molde sin programación.	PLC, SCADA e IoT integrados para control y análisis de datos en tiempo real. Robótica para carga/descarga, visión artificial para calidad constante
Limitaciones	Control limitado a interfaces manuales, sin trazabilidad digital. Sin capacidad de monitoreo en tiempo real.	Complejidad de programación y mantenimiento. Riesgo de obsolescencia rápida de software/hardware.

Enfoque / Variable	Procesos Convencionales	Procesos Automatizados
Áreas de oportunidad	Automatización parcial (pick-and-place, visión para inspección). Implementar MES/MOM básico para trazabilidad.	IA para mantenimiento predictivo. Plataformas modulares para “cambios rápidos” de moldes.
Producción		
Ventajas	Baja inversión permite líneas adicionales para picos de demanda. Operación semi-manual adaptable a lotes pequeños	Ciclos cortos y producción continua 24/7; alta repetibilidad de hasta 120 000 pzas/h. Sinergia máquina-robot reduce tiempos muertos y rechazos
Limitaciones	Ciclos más lentos y paradas frecuentes para carga/descarga. Variabilidad en tiempos de ciclo y calidad de preformas	Diseños de líneas rígidos, menos ágiles ante cambios inesperados
Áreas de oportunidad	Adopción de lean manufacturing para eliminar desperdicios. Semiautomatizar secado y transporte de pellets.	Flexibilizar células robotizadas para múltiples productos Integrar impresión 3D de prototipos de molde para pruebas rápidas.
Costos		
Ventajas	Bajo gasto de capital inicial (máquinas hidráulicas estándar). Costos de mantenimiento unitario más bajos	ROI atractivo con altos volúmenes: menores costos por pieza al amortizar inversión. Ahorros permanentes en mano de obra y energía
Limitaciones	Altos costos operativos (mano de obra y energía). Scrap y reprocesos elevan costo por pieza	Elevado gasto de capital y costos de licencias/soporte técnico
Áreas de oportunidad	Optimizar tarifas eléctricas negociadas.	Modelos de financiamiento “as-a-service” para equipamiento.

Enfoque / Variable	Procesos Convencionales	Procesos Automatizados
	Capacitación para reducir scrap y tiempos muertos.	Evaluar TCO (Total Cost of Ownership) completo, considerando ahorro energético.

*Nota:* adaptación propia basada en información de diferentes autores [(Bibow et al., 2025;

BMIMachines, 2023; Czepiel et al., 2023; Pasquel Salas, 2024; *PET Packaging*, s. f.; *Robotic & automation*, 2022)]

## Discusión

La adopción de la automatización en la industria de preformas PET en Colombia revela un panorama de contrastes entre los avances tecnológicos globales y las particularidades locales. En primer lugar, la evolución histórica muestra que, si bien Colombia ha experimentado un retraso inicial respecto a naciones líderes en la implementación de tecnologías 4.0, en la última década ha fortalecido su infraestructura institucional y gremial para impulsar la digitalización industrial. Iniciativas como el Centro para la Cuarta Revolución Industrial en Medellín y el programa Retos 4.0 evidencian un creciente compromiso público–privado con la modernización, aunque persisten brechas significativas en capital humano especializado y en inversión sostenida en I+D (Capítulo 2).

En cuanto a los impactos operativos, los resultados señalan mejoras contundentes: líneas con celdas robotizadas y control PLC/SCADA han permitido incrementar la productividad en al menos un 30 %, disminuir paradas no planificadas y reducir errores humanos en la manipulación de piezas calientes o sensibles (Capítulo 3, “Impactos operativos”). La integración de AGVs y brazos robóticos no solo optimiza flujos internos, sino que también libera al personal para funciones de mayor valor agregado, favoreciendo una reconversión laboral alineada con las exigencias de Industria 4.0.

El componente tecnológico subraya la transformación de la planta en un ecosistema ciber-físico: sensores IoT, visión artificial y gemelos digitales permiten monitorear en tiempo real variables críticas —temperatura, presión, tiempos de ciclo— y ajustar automáticamente los parámetros de moldeo. Esto redundo en uniformidad dimensional, menores scrap y habilita un mantenimiento predictivo que minimiza paradas imprevistas (Capítulo 3, “Impactos tecnológicos”).

Desde la perspectiva ambiental, la automatización contribuye a una significativa reducción del consumo energético (entre 12 % y 20 %) mediante el uso de máquinas servoeléctricas y sistemas adaptativos de regulación térmica. Asimismo, la tasa de desperdicio se ha reducido de aproximadamente 4 % a menos de 1,5 %, gracias al control de calidad en línea y la trazabilidad de materiales dentro de un modelo de economía circular (Capítulo 3, “Impactos ambientales”).

Económicamente, la inversión en automatización, aun cuando implica un CAPEX elevado, se traduce en un ROI cercano al 80 % y una disminución sostenida de costos operativos, especialmente energéticos y de insumos. Esto posiciona a las empresas automatizadas para competir tanto en el mercado nacional como en el internacional, al ofrecer preformas de alta calidad a menores costos unitarios (Capítulo 3, “Impactos económicos”).

La comparación entre procesos convencionales y automatizados (Capítulo 4) revela que, si bien los métodos tradicionales ofrecen flexibilidad y bajo costo inicial, sufren limitaciones en productividad, calidad constante y eficiencia energética. En contraste, los sistemas automatizados maximizan velocidad, uniformidad y sostenibilidad, aunque demandan conocimientos técnicos especializados y presentan rigidez ante cambios frecuentes de diseño.

## Conclusiones

**Modernización progresiva pero desigual:** Colombia ha consolidado marcos institucionales y programas de apoyo para la Industria 4.0, aunque la adopción real por parte de PYMES sigue siendo limitada por la falta de talento especializado y de inversiones sostenidas en tecnología avanzada.

**Aumento de la productividad y la calidad:** La implementación de celdas robotizadas, PLC/SCADA, visión artificial y AGVs ha incrementado la eficiencia operativa en más de un 30 %, reducido scrap por debajo del 1,5 % y mejorado la uniformidad dimensional de las preformas.

**Beneficios ambientales claros:** El uso de maquinaria servoeléctrica y sistemas de monitoreo energético inteligente ha permitido una reducción de hasta 20 % en consumo eléctrico y un manejo integrado de residuos que favorece la economía circular.

**Retorno de inversión favorable:** A pesar de un CAPEX inicial elevado, las empresas automatizadas reportan un ROI cercano al 80 % y una disminución sostenida de costos operativos, fortaleciendo su competitividad en mercados exigentes.

**Tensiones entre flexibilidad y especialización:** La rigidez de las líneas altamente automatizadas contrasta con la adaptabilidad de los procesos convencionales, planteando la necesidad de soluciones modulares que combinen lo mejor de ambos enfoques.

## **Recomendaciones**

**Fortalecer la formación técnica:** Desarrollar programas de capacitación y certificación en automatización y mantenimiento de sistemas 4.0, enfocados en PYMES del sector plástico, en alianza con universidades técnicas y centros de investigación.

**Fomentar modelos de inversión escalables:** Promover esquemas de financiamiento “as-a-service” y leasing de equipos automatizados para reducir la barrera del CAPEX y facilitar la transición tecnológica de empresas de menor tamaño.

**Impulsar el modularidad de líneas:** Incentivar el diseño e implementación de celdas robotizadas y estaciones de inspección que permitan cambios rápidos de moldes y productos, conciliando flexibilidad y eficiencia para lotes variables.

**Promover la economía circular:** Ampliar programas de reciclaje inline de rPET con ajuste automático de recetas, integrando trazabilidad digital para asegurar la calidad y trazabilidad de las preformas fabricadas con material reciclado.

**Apoyar la investigación y desarrollo:** Destinar fondos público-privados a proyectos de I+D en gemelos digitales, inteligencia artificial aplicada al control de procesos y sensores avanzados de bajo consumo para continuar mejorando la sostenibilidad y competitividad del sector.

### Referencias Bibliográficas

- Babaremu, K. O., Okoya, S. A., Hughes, E., Tijani, B., Teidi, D., Akpan, A., Igwe, J., Karera, S., Oyinlola, M., & Akinlabi, E. T. (2022). Sustainable plastic waste management in a circular economy. *Heliyon*, 8(7), e09984. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09984>
- Baquero Latorre, L. (2024, mayo 9). *Industria plástica en Colombia: Actualidad y tendencias*. Numan. <https://numan.la/industria-plastica-colombia-actualidad-tendencias/>
- Bibow, P., Sapel, P., & Hopmann, C. (2025). Smart factory concepts and their fitness to the plastics processing industry: A critical review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-025-09593-x>
- BMI Machines. (2023). *Los 8 pasos del proceso de inyección de preformas en ciclos rápidos*. BMI Machines. <https://www.bmimachines.com/los-8-pasos-del-proceso-de-inyeccion-de-preformas/>
- BMIMachines. (2023, junio). *4 Razones para empezar a inyectar tus propias preformas PET – BMI Machines*. <https://www.bmimachines.com/4-razones-para-empezar-a-inyectar-tus-propias-preformas-pet/>
- CAELCA S.A.S. (2022, marzo 1). Cronología de la historia del plástico. *Cauchos y Plásticos - CAELCA S.A.S*. <https://caelca.com.co/blog/cronologia-de-la-historia-del-plastico/>
- Canal Trece. (2018, mayo 27). *Robótica en Colombia: Algunos momentos importantes | Canal Trece*. <https://canaltrece.com.co/noticias/robotica-en-colombia-algunos-momentos-importantes/>
- Colombiana de Pet. (2025). *Nosotros*. Colombiana de Pet. <https://colombianadepet.com.co/nosotros/>

ColombiaPlast. (2024). *Nuevo impulso hacia la sostenibilidad y la digitalización en la industria de plásticos en Colombia*. ColombiaPlast.

<https://www.colombiaplast.org/es/noticia/7064/es/>

Cornejo, J., Barrera, S., Herrera Ruiz, C. A., Gutierrez, F., Casasnovas, M. O., Kot, L., Solis, M. A., Larenas, R., Castro-Nieny, F., Arbulú Saavedra, M. R., Rodríguez Serrezuela, R., Muñoz Londoño, Y., Serna, A., Ortega-Aranda, D., Aranda-Miramontes, S., Chang, I., Cardona, M., Carrasquilla-Batista, A., Palomares, R., ... L'Huillier, E. A. (2023).

Industrial, Collaborative and Mobile Robotics in Latin America: Review of Mechatronic Technologies for Advanced Automation. *Emerging Science Journal*, 7(4), 1430-1458.

<https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-04-025>

Czepiel, M., Bańkosz, M., & Sobczak-Kupiec, A. (2023). Advanced Injection Molding Methods: Review. *Materials*, 16(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/ma16175802>

Echavarría, J. J., & Villamizar-Villegas, M. (2006). El proceso colombiano de desindustrialización. *Borradores de Economía; No. 361*. <https://doi.org/10.32468/be.361>

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2024, enero 19). *Automatización y sostenibilidad: El futuro del trabajo en Colombia*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://www.escuelaing.edu.co/es/noticias/automatizacion-y-sostenibilidad-el-futuro-del-trabajo-en-colombia/>

FADE.SAS. (2025). *Servicios | FADESAS.COM*. <https://fadesas.com/servicios/>

IberPlast. (2025). *Historia y Experiencia*. IberPlast. <https://www.iberplast.com.co/historia-y-experiencia>

IBM. (2021a, julio 27). *¿Qué es la automatización? IBM*. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/automation>

- IBM. (2021b, julio 27). *¿Qué es la visión artificial?* | IBM. IBM. <https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision>
- IBM. (2021c, agosto 4). *¿Qué es la Industria 4.0 y cómo funciona?* | IBM. <https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0>
- La Nota Económica. (2023). *Balance anual de la Industria del Plástico en Colombia: Aporte sostenible y desafíos para el futuro*. La Nota Económica. <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/balance-anual-de-la-industria-del-plastico-en-colombia-aporte-sostenible-y-desafios-para-el-futuro-2/>
- Metalmecánica. (2014). *Primer robot ensamblado y programado 100% en Colombia recibe Premio TEAM GM Transformers*. Metalmecánica. <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/primer-robot-ensamblado-y-programado-100-en-colombia-recibe-premio-team-gm-transformers>
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación. (2020). *Colombia y la nueva revolución industrial* (Universidad EAFIT & C. Suárez-Giraldo, Eds.; 1.<sup>a</sup> ed.). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://doi.org/10.17230/9789585135116vdyc>
- MINTIC. (2023). *MinTIC promueve las tecnologías 4.0 en el sector empresarial para apalancar el crecimiento económico del país—MinTIC promueve las tecnologías 4.0 en el sector empresarial para apalancar el crecimiento económico del país*. MINTIC Colombia. <https://www.mintic.gov.co/portal/715/w3-article-273806.html>
- Mordor Intelligence. (2024). *Plastic Bottles and Containers Market Size* | Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/plastic-bottles-containers-market-industry>

Muñoz-Pinzón, D. S., Valencia-Rivero, K. T., Caviativa-Castro, Y. P., & Castillo-Bustos, J. S. (2024). Estado actual de la adopción de la industria 4.0 en pymes colombianas: Desafíos y oportunidades. *Revista Politécnica*, 20(39), Article 39.

<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a7>

Napoli, D. (2025). *The Value of Multivendor Software-Defined Automation*. automation.com.

<https://www.automation.com/en-us/articles/february-2025/value-multivendor-software-defined-automation>

Parabor. (2025, enero 27). La Digitalización y las Nuevas Tecnologías en la Industria del Plástico: El Futuro en 2025. *Especialistas en el Suministro de Materias Primas*.

<https://parabor.com.co/la-digitalizacion-y-las-nuevas-tecnologias-en-la-industria-del-plastico-el-futuro-en-2025/>

Pasquel Salas, K. A. (2024). *Análisis del proceso de enfriamiento de un molde de estirado-soplado mediante simulación para un envase de 500ml* [Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28947/1/TTS2062.pdf>

Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en marcha*, 28(4), 3-14.

*PET Packaging: Driving Sustainability & the Circular Economy*. (s. f.). Husky. Recuperado 7 de mayo de 2025, de <https://www.husky.co/en/resources/blog/sustainable-pet-packaging-circular-economy/>

Plastico. (s. f.). *Revolución digital: La hoja de ruta para la Industria 4.0 en el plástico colombiano*. Plastico. Recuperado 4 de mayo de 2025, de

- <https://www.plastico.com/es/noticias/revolucion-digital-la-hoja-de-ruta-para-la-industria-40-en-el-plastico-colombiano>
- Plastics Technology México. (2025, febrero 6). *Robots y automatización para la industria del plástico* / *Plastics Technology Mexico*. Plastics Technology México. <https://www.pt-mexico.com/topics/automatizacion-en-plasticos>
- Porter, M., & Emmons, W. (2003, febrero 3). Asociación colombiana de industrias plásticas.pdf. *Harvard Business School*.  
<https://www.uic.org.ar/IntranetCompetitividad/6%C2%BA%20jornada/asociaci%C3%B3n%20colombiana%20de%20industrias%20pl%C3%A1sticas.pdf>
- Robotic & automation. (2022, agosto 11). *Plastic Injection Molding Machines: Types and Benefits*. Robotics & Automation News.  
<https://roboticsandautomationnews.com/2022/08/11/plastic-injection-molding-machines-types-and-benefits/54042/>
- Robotika. (2021, abril 5). *Nosotros—Robotika*. Robotika S.A.S. <https://robotika.com.co/nosotros/>
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- RPM Colombia. (2025). *Preformas* / *RPM Colombia* / *Fábrica de Preformas Plásticas* / *Bogotá*. RPM Colombia. <https://www.rpmcolombia.co/preformas>
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Ariño Latorre, C. (2020). *Automatización industrial*. Servei de Comunicació i Publicacions.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=982369>
- Santos Lozano, K. (2022). *El impacto ambiental de la Industria 4.0* [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/a567ebda-a2a7-40f5->

b8e1-

617c45be9947/content#:~:text=implementar%20para%20su%20correcto%20desarrollo,a  
fecta%20directamente%20los%20costes%20de

Silva Siu, D. (2023). *Importancia de la automatización de los procesos industriales*. Universidad César Vallejo. <https://www.ucv.edu.pe/noticias/importancia-de-la-automatizacion-de-los-procesos-industriales>

Tecnología AIJU. (2024, julio 18). *Innovación en IoT y eficiencia energética para la industria del plástico*. AIJU. <https://www.aju.es/2024/07/18/innovacion-en-iot-y-eficiencia-energetica-para-la-industria-del-plastico/>

Tecnología del Plástico. (2023a). *Del plástico a la forma: Preformas qué es, características y aplicaciones*. Tecnología del Plástico. <https://www.plastico.com/es/noticias/preformas-y-botellas-que-hay-de-nuevo>

Tecnología del Plástico. (2023b). *El futuro de la industria del plástico: Innovación y Sostenibilidad*. Plastico. <https://www.plastico.com/es/blog/el-futuro-de-la-industria-del-plastico-innovacion-y-sostenibilidad>

TPColombia. (2025). *TP Colombia S.A.S - Productora y comercializadora preformas PET*. tpcolombia.co. <https://tpcolombia.co/>

World Economic Forum. (2019). *Colombia asume el papel de líder mundial en la Cuarta Revolución Industrial y abre un centro de tecnología emergente en Medellín*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/press/2019/04/colombia-asume-el-papel-de-lider-mundial-en-la-cuarta-revolucion-industrial-y-abre-un-centro-de-tecnologia-emergente-en-medellin/>