

SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA 4.0

HUMBERTO JOSÉ CAMPO FLOYD

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
JULIO 2020**

SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA 4.0

HUMBERTO JOSÉ CAMPO FLOYD

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
KATHERINE ORTEGÓN, Ph.D**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
JULIO 2020**

Lista de Ilustración

Ilustración 1. Elementos obligatorios del ACV.	17
Ilustración 2. Lentes impresos	22
Ilustración 3. Descripción de los escenarios considerados. En la figura, a, b ,c ,d, e, f son los escenarios del sistema de manufactura centralizado y g, h, i, j, k son los escenarios del sistema de manufactura distribuido.	23
Ilustración 4. Análisis de contribución por fases.	25
Ilustración 5. Análisis de contribución por procesos.	26
Ilustración 6. Resultados del ACV de los escenarios 1-4.....	29
Ilustración 7. Distribución del consumo de energía eléctrica de una casa.	31
Ilustración 8. Ahorro eléctrico después de un año con sistema domótico.....	32

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación de tecnologías de la industria 4.0.	18
Tabla 2. Evaluación de criterios para selección de las tecnologías	21
Tabla 3. Resultados de experimento	24
Tabla 4. Escenarios para ciclo de vida de Realidad Virtual (RV)	28

Contenido

GLOSARIO	6
RESUMEN	7
1 Introducción	8
2 Contexto, Formulación y Justificación del Problema	9
3 Objetivos	10
3.1 Objetivo del Proyecto.....	10
3.2 Objetivos Específicos.....	10
4 Marco de Referencia	11
4.1 Antecedentes o Estudios Previos	11
4.2 Marco Teórico.....	12
4.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto	14
5 Metodología	15
6 Resultados	18
6.1 Selección de las tecnologías.	18
6.2 Caso 1: Impresión 3D	22
6.3 Caso 2: Realidad virtual.....	28
6.4 Caso 3: Internet de las cosas	31
6.5 Conclusiones	33
6.6 Recomendaciones	34
7 Bibliografía	35

GLOSARIO

INTERNET DE LAS COSAS: Es una red de objetos físicos –vehículos, máquinas, electrodomésticos y más– que utiliza sensores y APIs (Interfaz de programación de aplicaciones) para conectarse e intercambiar datos por internet

MANUFACTURA ADITIVA: En lugar de moldear una pieza o mecanizarla, la manufactura aditiva involucra tecnologías que funden el material, algunas veces usando un láser en el caso de los metales, con el fin de construir una pieza capa por capa.

REALIDAD VIRTUAL: Es la simulación generada por computadora de una imagen o entorno tridimensional con el que una persona puede interactuar de una manera aparentemente real o física utilizando un equipo electrónico especial, como un casco con una pantalla en el interior o guantes con sensores

RESUMEN

Esta investigación, cuyo objetivo es evaluar el impacto ambiental del efecto de tres tecnologías de la industria 4.0, las cuales son: manufactura aditiva, realidad virtual o aumentada e internet de las cosas, se presenta como un proyecto que propone mediante la aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida, demostrar los impactos ambientales generados por la implementación de las tecnologías anteriormente mencionadas, cuyo problema se abordó con una investigación mixta, debido a las tecnologías seleccionadas y al estudio exploratorio. Para la selección de las tecnologías, se realizó una ponderación de acuerdo a cuatro criterios propuestos, y, aquellas que obtuvieron la puntuación más alta fueron las escogidas para la investigación, además, se puso en evidencia la falta de estudios académicos referente al daño al medio ambiente que general las tecnologías de la industria 4.0. Finalmente, se aplicó la metodología de análisis de ciclo de vida para analizar sus impactos ambientales, dejando como evidencia que la manufactura aditiva y la realidad virtual generan un impacto significativo al medio ambiente.

Palabras claves: Industria 4.0, sostenibilidad, análisis de ciclo de vida.

1 Introducción

La cuarta revolución industrial o industria 4.0 se caracteriza por la interconectividad y la automatización, de la cual, hacen parte las siguientes tecnologías: internet de las cosas, simulación, manufactura aditiva, realidad virtual o aumentada, ciber seguridad, robots autónomos y big data. La implementación de estas tecnologías traerá beneficios como el mejoramiento de la productividad, mejoramiento de la eficiencia gracias a reducción de tiempo de actividad de máquinas, así como agilidad y flexibilidad, pues se presenta la facilidad de aumentar o reducir la escala de producción en las fábricas inteligentes.

Como se mencionó anteriormente, los beneficios que las nuevas tecnologías trae a la industria son variados, pero se desconoce los impactos ambientales que conllevan su uso. Por mencionar algunos casos, la manufactura aditiva puede favorecer el ahorro de costes en la fabricación, sin embargo, los productos generados por esta tienden a desgastarse rápido dependiendo de su calidad, ocasionando que queden obsoletos y por lo tanto aumenten los desperdicios a casusa de ello. Otro caso mencionado es sobre la realidad virtual, el cual presenta impactos al medio ambiente importantes en su fase de extracción de minerales para la fabricación de los dispositivos de RV, esto se explica mas a fondo en el documento.

Dicho lo anterior, es importante analizar las distintas etapas en la cual se desarrolla el producto, ya que, dependiendo de la tecnología, las cargas ambientales también varia como lo vimos en los anteriores ejemplos, siendo el primero en su fase de producción, y el segundo en su fase de extracción de recursos. Aquí radica la importancia de la aplicación del análisis de ciclo de vida. Sin embargo, poco se ha hablado en la literatura científica respecto a la industria 4.0 desde el punto de vista de la sostenibilidad, por lo tanto, el impacto real de los cambios asociados a la industria 4.0 sobre el medioambiente aún se encuentra en discusión.

Las implicaciones generales con respecto a sostenibilidad, a los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular han sido recientemente estudiados (Rajput and Singh, 2019). Sin embargo, la identificación cuantitativa de los impactos asociados desde una perspectiva de ciclo de vida aún se desconoce. Por lo tanto, mediante este proyecto se estudiaron tres tecnologías de la industria 4.0: manufactura aditiva, realidad virtual e internet de las cosas, con el fin de cuantificar su impacto ambiental y tener así, mayor conocimiento sobre si estas tecnologías realmente son sostenibles.

2 Contexto, Formulación y Justificación del Problema

En la primera revolución industrial se dio la implementación de máquinas de vapor, en la segunda revolución se dio la implementación de líneas de ensamble, la tercera fue la automatización y finalmente, la cuarta revolución industrial o industria 4.0 se caracteriza por la digitalización y conectividad del sector productivo (Luis and Román, n.d.). Esta etapa permite emplear diversas tecnologías digitales en los procesos de producción, para desarrollar de manera más eficiente sus productos y lograr las necesidades del mercado. Así mismo, al introducir nuevos métodos se esperan resultados favorables que ayudan a la competitividad en la industria, ya que ofrece muchos beneficios a través de la digitalización, la reducción de tiempos de producción, retroalimentación en la producción, modificación de piezas durante su fabricación, incremento de la productividad, reducción de desperdicios, entre otros.

La industria 4.0 trae beneficios a las empresas como los mencionados anteriormente, pero poco se ha hablado desde el punto de vista de la sostenibilidad, por lo tanto, el impacto real de los cambios asociados a la industria 4.0 sobre el medioambiente aún se encuentra en discusión. Las implicaciones generales con respecto a sostenibilidad, a los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular han sido recientemente estudiados (Rajput and Singh, 2019). Sin embargo, la identificación cuantitativa de los impactos asociados desde una perspectiva de ciclo de vida aún se desconoce. Por lo tanto, mediante este proyecto se estudiaron tres tecnologías de la industria 4.0, con el fin de cuantificar su impacto ambiental a la luz de eco-indicadores los cuales están relacionados con la categoría de impacto a evaluar correspondiente al análisis de ciclo de vida de cada tecnología y de esta forma, brindar mayor conocimiento sobre si estas tecnologías realmente son sostenibles.

3 Objetivos

3.1 Objetivo del Proyecto

Evaluar el impacto ambiental del efecto de tres de las tecnologías de industria 4.0 desde una perspectiva de ciclo de vida.

3.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el impacto ambiental de tres tecnologías de la industria 4.0.
- Documentar casos de estudio a partir de las evaluaciones realizadas sobre las tecnologías seleccionadas.

Entregables:

- Comparativo de evaluaciones de las tecnologías desde el punto de vista ambiental.
- Casos de estudio documentados de las tres tecnologías.

4 Marco de Referencia

4.1 Antecedentes o Estudios Previos

La cuarta revolución industrial o industria 4.0, se centra en la interconectividad y automatización. Está encaminada a mejorar el intercambio de datos e información de centros productivos gracias a la implementación de nuevos desarrollos tecnológicos, entre los cuales se encuentran la computación en nube, robots autónomos, fabricación aditiva, realidad aumentada, big data, simulación, ciberseguridad e internet de las cosas.

Para entrar en detalle sobre la aplicación de las tecnologías, se habla sobre la impresión 3D y sus beneficios en la industria manufacturera, los cuales son la reducción de inventarios y la interrupción de las cadenas de suministros, ya que las partes son impresas en el momento de ser solicitadas, incrementando la eficiencia y la reducción de desperdicios. Es muy flexible porque permite probar nuevas ideas en el momento, facilita la personalización del producto, permite realizar pequeños ajustes en el proceso de producción, además, adopta nuevos programas y procesos para crear productos personalizados manteniendo la capacidad de producción (Hoey, 2018).

Por otro lado, también se habla sobre las desventajas, pues el proceso trae consigo la reducción del ciclo de vida del producto, lo que a su vez aumentaría su consumo y por lo tanto la demanda, trayendo como resultado que la fabricación por impresión no sea garantía de sostenibilidad. Por ejemplo, en un estudio sobre la impresión 3D, se analiza el consumo energético donde raramente considera el desempeño sostenible es tenido en cuenta (Peng, 2016).

Un caso aplicado sobre la industria 4.0 es el de Dinamarca, donde la conectividad y el uso masivo de datos trajo consigo un alto precio, pues en un reporte realizado sobre el consumo energético (COWI, 2018) aseguran que el centro de información internacional consumirá para 2030 un 20% de la energía actual nacional.

Finalmente, concluyen que muchas actividades económicas en algunos países están estancadas en la industria 1.0 – 3.0, lo que significa que la industria 4.0 aproximado a la economía circular no solventa los problemas de sostenibilidad de la economía mundial (Peeters et al., 2019).

La relación entre la economía circular y la industria 4.0 ha sido inexplorada, sin embargo, puede haber beneficios si se logran integrar (Knudsen & Kaivo-oja, 2018). Las Naciones Unidas mencionan que las nuevas fuentes de datos, tecnologías y aproximaciones analíticas de ser aplicadas responsablemente pueden hacer más eficiente la toma de decisiones. Si bien se presentan ventajas, el incremento de la tecnología detrás de la industria 4.0 puede hacerla insostenible, ya que aumentaría

la demanda de recursos escasos como algunos metales utilizados en la manufactura, y de igual forma, el consumo de energía.

En otra investigación, se busca encontrar la relación entre la industria 4.0 y la economía circular (Rajput and Singh, 2019), , para la cual, se toman 26 factores que permiten integrarlas y 15 barreras o desafíos que dificultan, luego fueron factorizados utilizando Principal Component Analysis (PCA) y posteriormente utilizaron el método DEMATEL para categorizarlos en 2 grupos: (1) Causa, (2) Efecto. Como resultado de lo anterior, se obtuvo como principales facilitadores la Inteligencia Artificial (AI) y Economía Circular (CE), y como barreras se obtuvo Diseño de Interfaz y Modelos Automatizados de Sinergia. Concluyeron que la industria 4.0 contribuye a la sostenibilidad si se adopta Internet de las cosas para recuperar información que ayuda en el proceso de recolección de datos y compartir el consumo de recursos y desperdicio de materiales en tiempo real.

Dicho lo anterior, respecto a las tecnologías de la industria 4.0, hay estudios que hablan de la manufactura aditiva, la realidad virtual y el internet de las cosas, pero poco se habla de las restantes. Esto implica un desconocimiento sobre los impactos negativos al medio ambiente, así como la forma de disminuirlos o prevenirlos.

4.2 Marco Teórico

La cuarta revolución industrial o industria 4.0, se centra en la interconectividad y automatización. Está encaminada a mejorar el intercambio de datos e información de centros productivos gracias a la implementación de nuevos desarrollos tecnológicos, entre los cuales se encuentran la computación en nube, robots autónomos, fabricación aditiva, realidad aumentada y big data. Como resultado, se han obtenido varios beneficios que son característicos de la industria 4.0 como el mejoramiento de la productividad debido a la asignación de recursos de manera más rentable y eficiente; mejoramiento de la eficiencia ya que hay menos tiempo de actividad de las máquinas, lo que permite hacer más productos con mayor velocidad; flexibilidad y agilidad, habría facilidad en aumentar o reducir la escala de producción en las fábricas inteligentes, así como introducir nuevos productos a la línea de producción. Por lo anterior, se incorpora elementos que le permiten llevar a cabo un análisis exhaustivo, preciso y rápido acerca de todas las variables involucradas con la producción. Dicho análisis ayuda a que pueda mejorar día a día y, al mismo tiempo, a que puedan tomar mejores decisiones como consecuencia de la mejora de la información y de su análisis. (“Qué es la industria 4.0 o cuarta revolución industrial inteligente”, 2019)

Dicho lo anterior, la industria 4.0 comprende varias tecnologías entre las que se encuentra la impresión 3D o manufactura aditiva, la cual se define, según la American Society for Testing and Materials (ASTM) como “*un proceso de unir*

materiales para hacer objetos de datos del modelo 3D, generalmente capa tras capa, como en oposición a las metodologías de fabricación sustractivas, la fabricación de objetos a través de la deposición de un material usando un cabezal de impresión, boquilla u otra tecnología de impresora, a menudo utilizada como sinónimo de fabricación aditiva” (Peeters et al., 2019). Ésta se caracteriza por utilizar una cantidad requerida de material para realizar la pieza final, y en algunos casos se utiliza material excedente para estructuras de soporte en la fabricación.

Como se mencionó, la industria 4.0 se caracteriza por la conectividad, lo cual influye en el intercambio de grandes cantidades de datos e información, por lo tanto, debido a la gran cantidad de datos que se manejan, es importante utilizar una herramienta que se encarga del conjunto de estos, llamada Big Data. Utilizando la definición de Gartner, de aproximadamente 2001: Big data son los datos que contienen una mayor variedad y que se presentan en volúmenes crecientes y a una velocidad superior, lo anterior se conoce como “las tres V”.

Estos datos también son aprovechados para el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA), la cual es, una tecnología capaz de procesar en tiempo real grandes volúmenes de información que extraemos de las tecnologías Big Data, así como algoritmos capaces de aprender de forma autónoma a partir de la información que reciben, con independencia de las fuentes, y de la reacción de los usuarios y operadores. Por lo tanto, los volúmenes de datos son procesados en fracción de tiempo y, entre más datos maneje, más precisos serán los resultados.

Si bien, la IA parece una amenaza para los humanos, este no es el caso. El objetivo de la IA es complementar el trabajo de los humanos y no competir con estos, por lo tanto, se ha implementado en la fabricación de robots con el fin de facilitar las labores y aumentar la eficiencia en el trabajo. Esta tecnología es llamada, *robótica colaborativa*, la cual define a una nueva generación de robots industriales que coopera con los humanos de manera estrecha, sin las características restricciones de seguridad requeridas en aplicaciones típicas de robótica industrial. Se caracteriza, entre otras cosas, por su flexibilidad, accesibilidad, y relativa facilidad de programación.

Por otro lado, se están implementando tecnologías que permiten emular la realidad e integrarla con dispositivos llamada Realidad Virtual y realidad aumentada, la cual es un ambiente tridimensional generado por computadora, esta se define como: “La realidad virtual se caracteriza por la ilusión de participación en un entorno sintético que la observación externa de dicho entorno. Se basa en pantallas tridimensionales, estereoscópicas, con seguimiento de la cabeza, seguimiento de manos / cuerpo y sonido binaural. La realidad virtual es una experiencia inmersiva y multisensorial. También se conoce como entornos virtuales, mundos virtuales o micromundos. Tiene el potencial de proporcionar potencia adicional a sus usuarios a través de una mayor fidelidad perceptiva. (Michael A.Gigante, 1993). Lo anterior permite la optimización de la industria mediante una interacción digital más didáctica y fácil de

entender por operarios, trayendo ventajas en los procesos, ahorro de costes y reducción de tiempos de espera.

El internet industrial de las cosas (IIoT) se refiere a la extensión y uso del internet de las cosas (IoT) en sectores y aplicaciones industriales. Con un fuerte enfoque en la comunicación máquina a máquina (M2M), big data y aprendizaje automático, el IIoT permite a las industrias y empresas tener una mayor eficiencia y confiabilidad en sus operaciones. Los sistemas Ciberfísicos son todos aquellos dispositivos que integran capacidades de procesado, almacenamiento y comunicación con el fin de poder controlar uno o varios procesos físicos. (“Industrial Internet of Things (IIoT)”, n.d.)

Si bien las anteriores tecnologías muestran los beneficios que la industria 4.0 presenta, se debe conocer el impacto ambiental que pueden generar, por consiguiente, la sostenibilidad es imprescindible en este caso. Para dar conocer su significado, la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo la define como “satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. (Keeble, 1988).

4.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

Con este proyecto se pretende brindar mayor información sobre las tecnologías de la industria 4.0: manufactura aditiva, realidad virtual/aumentada e internet de las cosas, las cuales fueron escogidas gracias a que obtuvieron mayor puntaje en el proceso de selección. Lo anterior se realizó con el fin de cuantificar su impacto ambiental utilizando la metodología de análisis de ciclo de vida y tener así, mayor conocimiento sobre si estas tecnologías realmente son sostenibles. Respecto a la disciplina de la ingeniería industrial, se pretende brindar información acerca de la sostenibilidad de estas tres tecnologías mencionadas, ya que, como se evidencia en la investigación, pocos artículos hablan sobre la sostenibilidad de cada una. De igual forma, gracias a los resultados obtenidos, se brindan recomendaciones para disminuir el impacto ambiental generado por el uso de estas.

5 Metodología

Para la selección de tres tecnologías se procedió a seleccionar 4 criterios de evaluación, los cuales fueron: beneficios, disponibilidad de información, potencial de implementación e impacto ambiental. Seguidamente, se otorgó una ponderación, de 1 a 3 considerando la relevancia en cada uno de los criterios, siendo (1) Bajo, (2) Medio, (3) Alto.

- Beneficios para la industria: En este criterio se evaluó los beneficios que brinda la tecnología a la industria. Es decir, reducción de costos, mayor producción, incremento en ventas, reducción de desperdicios, optimización de procesos, etc.
- Disponibilidad de información: En este criterio, se evaluó la cantidad de información disponible acerca de la tecnología respectiva. Es decir, la cantidad de estudios previos realizados que se encuentren en bases de datos académicos.
- Potencial de implementación: En este criterio se evaluó la accesibilidad de la tecnología en las empresas. Es decir, la facilidad con la cual esta tecnología puede ser implementada dentro de la industria junto con los beneficios que puede brindar.
- Impacto ambiental: En este criterio se evalúa el nivel de contaminación que genera la tecnología. Es decir, de acuerdo a los efectos adversos que estas tecnologías generen, se evaluará respectivamente.

Los datos se registraron en una matriz donde se sumaron las ponderaciones obtenidas de cada tecnología y cada uno de los criterios. Finalmente, se organizó en orden descendente las puntuaciones totales, y las tres tecnologías con las puntuaciones más altas fueron escogidas.

Seleccionadas las tres tecnologías, se procedió a evaluarlas utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV se define como “una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (esto es, de la cuna a la tumba)” (Leiva, 2016). Dicho lo anterior, el desarrollo del ACV cuenta con cuatro etapas:

- Definición del Objetivo y Alcance del ACV
- Análisis de inventario de Ciclo de Vida
- Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida
- Interpretación.

Seguidamente, cada etapa se desarrolló de la siguiente manera:

1. **Definición del objetivo y alcance:** En esta etapa se desarrolló el objetivo del proyecto, el cual es comprobar la sostenibilidad de las tres tecnologías de la industria 4.0, dado que desde la perspectiva de ACV, el impacto ambiental aún se desconoce. Por otro lado, en el alcance se desarrolló las etapas del ciclo de vida de la tecnología, en este, se seleccionó una unidad funcional para expresar los datos de entrada y salida.
2. **Análisis de inventario:** Esta fase consistió en la cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio, en la que se incluye el uso de recursos (materias primas y energía), las emisiones a la atmósfera, los vertidos al suelo y aguas y la generación de residuos.
3. **Evaluación de impacto ambiental:** Esta fase relacionó los resultados del Análisis de Inventario con los efectos ambientales a que dan lugar, con el fin de valorar la importancia de los potenciales impactos que generan. Determinada por la normativa ISO 14042, comprende los siguientes elementos: categoría de impacto, indicador de categoría y modelo.
4. **Interpretación:** Es la combinación de los resultados del análisis de inventario (ICV) y de la evaluación de impacto (EICV). Finalmente, se brindaron conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de igual forma, permitió determinar en cual fase del ciclo de vida genera las principales cargas ambientales y cuales puntos del sistema pueden mejorarse. Además, al tratarse de comparación de dos tecnologías, se determinó cuál de estas presentó un mejor comportamiento ambiental.

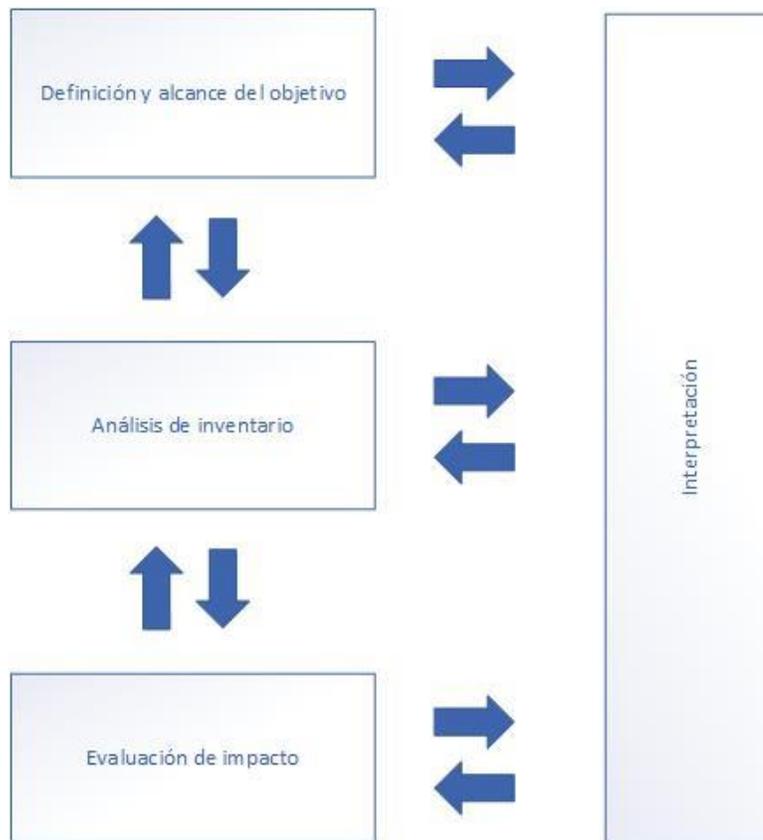


Ilustración 1. Elementos obligatorios del ACV.

Finalmente, se procedió a documentar un caso de estudio, que en palabras de Yin (1989) se define como “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real, donde los límites entre el fenómeno y el contexto no se muestra de forma precisa”.

6 Resultados

6.1 Selección de las tecnologías.

A continuación, se presenta en la Tabla 1 el cuadro comparativo con las tecnologías de la industria 4.0: manufactura aditiva, realidad virtual, robots autónomos, big data, internet de las cosas, ciberseguridad, simulación y cloud computing. En éste se describe 4 campos, que incluyen la definición respectiva de cada tecnología, los beneficios que brindan a la industria, potencial de implementación, el impacto ambiental y finalmente información encontrada a partir de investigaciones previas

Tabla 1. Comparación de tecnologías de la industria 4.0.

CUADRO COMPARATIVO				
TECNOLOGIA	¿QUES ES?	BENEFICIOS PARA LA INDUSTRIA	POTENCIAL DE IMPLEMENTACION	IMPACTO AMBIENTAL
IMPRESIÓN 3D	Manufactura aditiva se define como el proceso de agregar o unir materiales, usualmente capa por capa para crear objetos a partir de modelos de computo CAD 3D	Personalización: Podemos confeccionar de manera unica y personalizada una amplia variedad de objetos: joyas, juguetes, prendas o incluso inmuebles.	El ahorro de tiempo y costes de fabricacion resultan cruciales. En la aeronautica e industria automotriz ya se esta implementando en la creacion de piezas con nuevos diseños cuya calidad permite evaluar de forma temprana los requisitos de montaje y produccion posteriores.	Los productos generados por impresion 3D son cada vez mas debido al incremento en ventas maquinas. Esto genera un aumento en los residuos plasticos creados por ésta.
		Ahorro costes: Favorece la posibilidad de desarrollar un prototipo y determinar previamente su funcionalidad o no. Asimismo, se aplica al transporte, ya que se puede realizar la impresion desde la propia empresa.		Las impresoras 3D utilizan una gran cantidad de energia.
				La mayoría de plasticos tulizados en la impresion 3D no son eco-friendly, otros utilizan termoplasticos que pueden ser reciclados
REALIDAD VIRTUAL	La realidad virtual o VR consiste en la inmersión de un usuario en un entorno generado mediante tecnología informática. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través de gafas de realidad virtual, pudiendo interactuar con el él.	Prototipado de diseños: Es posible crear prototipados mediante VR, gracias a esto se puede apreciar sus características y analizar su diseño, de esta manera se logra reducir costos pues no es necesario invertir en materia prima para su creación.	Debido al creciente desarrollo de la tecnología y la carrera por reducir costos, la realidad aumentada VR es una opción a tomar. Esta solo consta de la utilización d una gafas, las cuales permiten experimentar un ambiente ficticio que permita satisfacer los objetivos de la empresa, ya sea prototipado, diseño de planta o capacitación de empleados.	Gracias a la realidad virtual, los arquitectos están diseñando edificios mucho más eficientes y respetuosos con el medioambiente. Ejemplo: Mejorar la utilización de luz natural para reducir dependencia de fuentes artificiales.
		Montaje y diseño de planta: La VR es esencial ya que permite conocer a futuro si un proyecto se adapta a las dimensiones reales de la fabrica donde se quiere instalar.		La realidad virtual, al ser un mundo artificial generado por computadora, no tiene contacto con el medio ambiente, por lo tanto, no genera ninguna repercusión hacia éste.
		Mantenimiento y control de planta: Los operarios podran utilizar la VR para capacitarse en la reparacion de maquinaria, gracias a que sigue las instrucciones virtuales brindadas por las gafas.		
ROBOTS AUTONOMOS	Son sistemas cada vez mas autonomos, flexibles y capaces de trabajar de forma cooperativa. Buscando la interaccion para trabajar de forma segura con los humanos, e incluso, aprender de ellos.	Automatización de procesos: Los robots son sistemas autonomos robotizados, lo cual, permite que trabajen junto a otro robots de manera sincronizada en una linea de produccion. Ademas, gracias a sus sensores y unidades de control de calidad, permite una estrecha colaboracion con las personas que participan del proceso productivo.	La automatizacion por parte de las empresas es cada vez mayor, sin embargo, los costos pueden decidir la implementacion de estos, por lo tanto, implementar robots en una empresa depende de la capacidad adquisitiva de esta, por otro, puede enfocarse en automatizar un proceso core que le convenga.	Los robots requieren consumo de energia para funcionar.
		Alta flexibilidad en los procesos productivos: Permiten optimizar, personalizar y hacer flexible las demandas de produccion		Las partes que componen los robots se desgastan por los efectos termicos, como consecuencia son desechadas y cambiadas.
		Redcción tiempo de entrega: Los robots autonomos son capaces de calcular la mejor ruta del punto A al B.		Para la fabricacion de robots es necesario la utilizacion de algunos metales, los cuales previamente son fundidos, generando gases contaminantes a la atmosfera.

Tabla 1. Continuación

<p>BIG DATA</p>	<p>El Big Data es un conjunto de datos cuyo tamaño, complejidad y velocidad de crecimiento dificultan su captura, gestión, procedimiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales.</p>	<p>Reducción de coste. Las grandes tecnologías de datos, como Hadoop y el análisis basado en la nube, aportan importantes ventajas en términos de costes cuando se trata de almacenar grandes cantidades de datos, además de identificar maneras más eficientes de hacer negocios</p> <p>Más rápido, mejor toma de decisiones. Con la velocidad de Hadoop y la analítica en memoria, combinada con la capacidad de analizar nuevas fuentes de datos, las empresas pueden analizar la información inmediatamente y tomar decisiones basadas en lo que han aprendido.</p> <p>Nuevos productos y servicios. Con la capacidad de medir las necesidades de los clientes y la satisfacción a través de análisis viene el poder de dar a los clientes lo que quieren. Con la analítica de Big Data, más empresas están creando nuevos productos para satisfacer las necesidades de los clientes.</p>	<p>Debido al crecimiento de volúmenes de datos gracias a la internet, es importante la aplicación del Big Data por parte de las empresas para el análisis y uso de estos. Por lo tanto, el potencial de implementación es alto puesto que es casi necesario la implementación para que una empresa se mantenga competitiva.</p>	<p>10 % de la energía de centros de datos podría darle electricidad a 6 mil 400 hogares durante un mes.</p> <p>2% de la contaminación mundial por CO2 lo generan las empresas de tecnología de la información.</p> <p>Los 44 millones de servidores que hay en Internet suponen el 2% de todas las emisiones de CO2 del planeta, igual que toda la industria de la aviación o un país mediano.</p>
<p>INTERNET DE LAS COSAS</p>	<p>El internet industrial de las cosas (IIoT) es el uso de sensores y actuadores inteligentes para mejorar los procesos industriales y de fabricación.</p>	<p>Uno de los principales beneficios que el Internet industrial de las cosas ofrece a las empresas es el mantenimiento predictivo. Esto implica que las organizaciones usen datos en tiempo real generados por los sistemas IIoT para predecir defectos en la maquinaria, por ejemplo, antes de que ocurran, lo que permite a las empresas tomar medidas para abordar esos problemas antes de que una pieza falle o una máquina se caiga.</p> <p>Otro beneficio común es el servicio de campo mejorado. Las tecnologías IIoT ayudan a los técnicos de servicio de campo a identificar posibles problemas en el equipo del cliente antes de que se conviertan en problemas importantes, lo que permite a los técnicos solucionar los problemas antes de que molesten a los clientes</p>	<p>El internet de las cosas presenta un potencial de implementación medio ya que afronta desafíos como la privacidad, seguridad, asuntos jurídicos y de regulación, asuntos de desarrollo y economías emergentes. Sin embargo, su aspecto es cada vez más creciente de la manera en que la gente y las instituciones interactúan con las internet en sus vidas sociales, personales y económicas.</p> <p>https://www.internetsociety.org/es/poli-cybrifels/iiot</p>	<p>Usar internet y ser parte de esta también genera contaminación y es que las tecnologías de la información (TIC) son responsables del 2% de las emisiones de gases contaminantes que contribuyen al efecto invernadero.</p>
<p>CIBERSEGURIDAD</p>	<p>Ciberseguridad es la práctica de proteger sistemas, redes y programas de ataques digitales.</p>	<p>Proporciona protección ante virus, spywares y programas no deseados. También proporciona protección de robo de datos gracias a la implementación de altos protocolos de seguridad, los cuales no pueden ser vulnerados. Además, mantiene la seguridad y los datos privados del usuario seguros.</p>	<p>Aunque no es sencillo, se requiere tiempo y acciones continuadas. Se requiere realizar formación para los empleados sobre seguridad; establecer políticas, normativas y procedimientos de seguridad; supervisar que se cumplan las buenas prácticas y finalmente, realizar acciones de sensibilización y concienciación en seguridad.</p>	<p>N/A</p>

Tabla 1. Continuación.

SIMULACION	<p>Consiste en la utilización de ciertas técnicas matemáticas, empleadas en computadores, las cuales permiten imitar el funcionamiento de prácticamente cualquier tipo de operación o proceso del mundo real, es decir, es el estudio del comportamiento de sistemas reales a través del ejercicio de modelos.</p>	<p>Se estudia los efectos de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo y observar el efecto de estas. De igual forma, se utiliza para experimentar situaciones donde se posea poca o ninguna información, de esta forma se puede anticipar mejor a los posibles resultados.</p>	<p>El crecimiento con relación al uso de esta herramienta se debe principalmente a su actual facilidad de uso, sofisticación de los ambientes y desarrollo de los modelos computacionales. Este crecimiento es prueba de como este modelo de simulación se está convirtiendo en algo importante y reconocido para las empresas e industrias nacionales e internacionales como forma de economizar recursos y prevenir problemas</p>	N/A
CLOUD COMPUTING	<p>La computación en nube, a menudo llamada simplemente "la nube", es la entrega de servicios de computación bajo demanda, todo, desde aplicaciones a centros de datos, por medio de internet en una base de pago por uso.</p>	<p>Recursos flexibles, servicio medido para que solo se pague lo utilizado y autoservicio. De igual forma se presenta actualización de software instantaneo y capacidad de almacenamiento ilimitada.</p>	<p>Se deben de evaluar los beneficios y riesgos de la computacion en la nube en relacion uso y necesidad. De lo anterior depende utilizar un servicio de nube publica o privada, de lo contrario, puede convertirse en un problema para la empresa el no conocer la planificacion adecuada.</p>	N/A

Definidas y descritas cada tecnología, se procedió a evaluar cada tecnología teniendo en cuenta los cuatro criterios definidos anteriormente: beneficio para la industria, potencial de implementación, impacto ambiental y estudios previos como se observa en la Tabla 1. Comparación de tecnologías de la industria 4.0. Finalmente se procedió a realizar el análisis de ciclo de vida de las tecnologías escogidas, las cuales fueron: Internet de las cosas, Impresión 3D y realidad virtual.

Tabla 2. Evaluación de criterios para selección de las tecnologías

CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS					
TECNOLOGIA	BENEFICIO PARA LA INDUSTRIA	POTENCIAL DE IMPLEMENTACION	IMPACTO AMBIENTAL	ESTUDIOS AMBIENTALES PREVIOS	TOTAL
MANUFACTURA ADITIVA	La creación de piezas personalizadas, complejas o desde la propia empresa puede reducir costos de fabricación y transporte, de igual forma, favorece la creación de prototipos de manera rápida.	Esta tecnología se encuentra aun en desarrollo y pocas empresas pueden invertir en su implementación. Por lo tanto, debido a que aun esta en desarrollo, es difícil la implementación de esta en la industria. Su implementación depende del tipo de industria, proceso y producto.	Los productos realizados por impresión 3D tienen un tiempo de vida muy corto, esto genera que se desechen con más constancia, aumentando la contaminación.	Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System <i>Felipe Cerdas, Max Juraschek, Sebastian Thiede, and Christoph Herrmann</i>	11
	3	2	3	3	
REALIDAD VIRTUAL	Esta tecnología crea espacios ficticios para probar prototipos, ayuda a la reducción de costos y a evaluar mejor el proyecto sin la necesidad de invertir dinero o utilizar materia prima.	La implementación de VR es sencilla y solo basta con tener unas gafas. Por otra parte, la implementación del software que la empresa necesita para cumplir su objetivo sería el desafío.	La realidad virtual no está en interacción con el medio ambiente, por lo tanto, no contamina.	https://www.huffingtonpost.es/2017/09/05/como-la-realidad-virtual-ayudara-al-medioambiente_a_23188094/	9
	3	2	2	2	
ROBOTS AUTONOMOS	Si bien los robots ayudan a la eficiencia de la producción, esto puede traer aumentos de costos. De igual forma, una persona puede hacer su trabajo, a menos que se requiera un grado de complejidad alto.	La implementación de robots es costosa, por lo tanto solo es necesario utilizarlos en procesos core de la empresa.	Durante el proceso productivo de los robots se están emitiendo gases contaminantes, de igual forma, las partes obsoletas de estos son desechadas. REVISAR IMPACTOS (AUTOMATIZACION)	Life Cycle Analysis of Double-Arm Type Robotic Tools for LCD Panel Handling	8
	2	2	2	2	
BIG DATA	Ayuda en la toma de decisiones y posibles oportunidades mediante el tratamiento de datos estructurados. De igual forma, ayuda a conocer mejor los clientes mediante el tratamiento de estos.	Las empresas están recibiendo constantemente gran cantidad de datos, por lo cual, es necesario el Big Data para su análisis.	El flujo de datos seguirá aumentando con los años debido a la información que se envía a internet, como consecuencia, también aumenta el consumo y capacidad energética de los centros de información.	No se encontró información relevante o estudios previos.	8
	3	2	2	1	
INTERNET DE LAS COSAS	Las empresas conocen el estado de sus procesos gracias al monitoreo de los procesos productivos e identificación de problemas futuros.	El internet de las cosas es fundamental para el funcionamiento de las empresas para estar monitoreando el estado de sus procesos internos y de igual forma, prevenir problemas futuros. DIFICULTAD DE IMPLEMENTACION	Cualquier empresa alrededor del mundo está conectada a internet, ante esto, el consumo energético aumenta debido a la transferencia de datos. El impacto ambiental es bajo, pero corre riesgo de que aumente con los años.	Se encontraron estudios previos y datos relevantes.	10
	3	3	3	1	
CIBERSEGURIDAD	Asegura la integridad y privacidad de la información de sistemas informáticos, evita daños y problemas que pueden ocasionar intrusos.	Se puede implementar ciberseguridad de diferentes maneras, implementando firewalls o utilizando anti-malware. Estos medios pueden conseguirse mediante proveedores especializados en ciberseguridad. https://www.coxblue.com/8-cyber-	No se encontró información	No se encontró estudios	6
	3	1	1	1	

6.2 Caso 1: Impresión 3D

Objetivo, alcance y unidad funcional

La metodología LCA se utiliza para estimar el impacto ambiental del sistema bajo estudio. En este caso, se implementa desde la cuna a la tumba (cradle-to-grave). El objetivo del estudio es evaluar el impacto ambiental de una DMS (Distributed Manufacturing System) comparado con una CMS (Centralized Manufacturing System). En este estudio se utiliza la unidad funcional de unos lentes terminados. Para alcanzar un equivalente a un producto de calidad se investigaron los parámetros equivalentes y se asumió que la vida útil de estos era de 3 años.



Ilustración 2. Lentes impresos

Fuente: (Cerdas et al., 2017)

Se consideraron ocho categorías de impacto ambiental: cambio climático (GWP); potencial de acidificación (APO); reducción de recursos bióticos (ADP); potencial eco-toxico acuático marino (MAETP); potencial de toxicidad humana (HTP); potencial de eutrofización, potencial eco-toxico de agua dulce (FAETP) y potencial eco-toxico terrestre (TEP). En el estudio, la base de datos fue tomada de ecoinvent 3.0 (Center for Life Cycle Inventories., 2015) y se utilizó el programa Umberto (ifu Hamburg GmbH, 2015) el cual permite realizar un modelo del sistema de producción y ciclo de vida del producto.

Definición del sistema e inventario

Seis locaciones fueron escogidas para ser vendido el producto a los consumidores. Estos lugares son: India, Australia, Rusia, Estados Unidos, Japón y México. En la Ilustración 3. Descripción de los escenarios se muestra un escenario ficticio modelado para el estudio, considerando distancia de transporte y consumo energético, además, se asume que el proceso productivo es el mismo en todos los lugares.

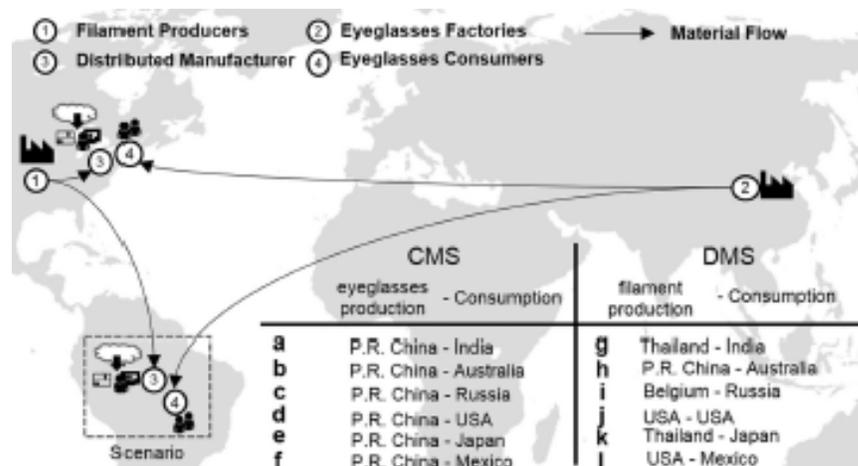


Ilustración 3. Descripción de los escenarios considerados. En la figura, a, b, c, d, e, f son los escenarios del sistema de manufactura centralizado y g, h, i, j, k son los escenarios del sistema de manufactura distribuido.

Fuente: (Cerdas et al., 2017)

Para el CMS, el sitio de producción se ubicó en la ciudad de Guangzhou (P.R. China). Desde este lugar los lentes son enviados a los sitios donde serán comercializados como se indica en la Ilustración 3. Descripción de los escenarios La cadena de producción está compuesta por los siguientes procesos: producción de materia prima, manufactura, distribución y cliente (fase de uso). Para la fabricación de los lentes, se utiliza capas de acetato de celulosa de 4 milímetros de espesor (se asume para este caso de estudio). La energía requerida para producir capas de acetato de celulosa desde cradle-to gate es aproximadamente de 23.5 y 26 kWh/kh. Estas capas son moldeadas a inyección para producir el frente de las gafas y las dos piezas laterales de las dimensiones especificadas, la celulosa sobrante es descartada y se estima que es 25.2 gramos (g). La energía utilizada para la inyección de moldes de acetato de celulosa varía entre 5.15 y 5.6 kWh/kg. Una vez todos los componentes principales están listos, los lentes son ensamblados manualmente. El peso final del ensamble es de 30g, donde 0.045g corresponden a las bisagras y tornillos, el restante corresponde al acetato de celulosa. Para este sistema, el estudio no considera la producción y disposición de la infraestructura requerida para la producción. El análisis no incluye máquinas de producción, transporte y mantenimiento.

Para el caso de DMS, el proceso de AM (Aditive Manufacturing) fue modelado desde una impresora 3D ubicada directamente en el sitio de venta y el material a utilizar es PLA. Se estima que la energía requerida para producir 1kg de PLA granulado varía entre 14 a 17 kWh/kg según varios estudios que analizan el impacto ambiental de este componente (Guo & Crittenden, 2011). Los gránulos de PLA son convertidos en filamentos mediante un proceso de extrusión, para este proceso se asume una

producción de 15 Kg/h y un consumo energético de 1kW/h por kg de filamento. Una vez el filamento este hecho, es enrollado en forma de carrete, el cual se asume que es de PP (Polipropileno). Se estima que la energía requerida para producir PP es de 17 a 22 kWh desde cradle-to gate (Guo & Crittenden, 2011). El peso aproximado de un carrete de PP con 900g de PLA es de 200g. En el estudio, se modelaron cinco lugares de producción del filamento considerando la industria de producción de filamento actual: Escanaffles (Bélgica), Nebraska (USA), Rayong (Tailandia) y Taizhou (P.R China).

Tabla 3. Resultados de experimento

Fuente: (Cerdas et al., 2017)

No.	Printing parameters		Product properties			
	Layer height [mm]	Infill [%]	Weight [g]	Energy consumption [kWh]	Printing time [min]	Sufficient strength [yes/no]
1	0.1	55	16.6	0.289	271	Yes
2	0.3	10	12.2	0.118	101	No
3	0.2	10	12.7	0.147	137	No
4	0.2	55	14.5	0.164	165	Yes
5	0.1	10	13.6	0.241	228	No
6	0.1	100	19.7	0.327	307	Yes
7	0.3	100	17.2	0.132	124	No
8	0.2	100	17.7	0.169	164	Yes
9	0.2	55	14.5	0.162	166	Yes
10	0.2	55	14.5	0.164	157	Yes
11	0.2	55	14.5	0.167	171	Yes
12	0.3	55	14.3	0.132	107	No
13	0.2	55	14.4	0.165	166	Yes

Note: mm = millimeters; g = grams; kWh = kilowatt-hours.

Como se resumió en Tabla 3. Resultados de experimento, se realizaron experimentos para encontrar parámetros técnicos del producto. Se varió la altura de las capas y su relleno. A menor altura se obtendrá un mayor detalle de impresión y mejor calidad, no obstante, incrementa el tiempo de impresión y consumo energético. La demanda energética de la impresora 3D depende de su estado. Para los diferentes estados se obtuvo una media energética: 12 watts (W) estado ideal, 72 W estado configurado, 75 W en estado de calentamiento, 71 W en construcción. Los valores energéticos dados en la tabla 1 son representativos del modelo DMS. El porcentaje de material dentro del producto está dado por el parámetro de relleno, es decir, cuanto mayor sea el relleno, más cantidad de material será utilizado, incrementando la calidad de impresión, así como el tiempo, material usado y consumo energético.

Evaluación de impacto e interpretación

En esta sección se presenta los impactos ambientales asociados en la producción de un par de lentes bajo los sistemas de estudio empleados. La contribución de cada fase de ciclo de vida hasta las ocho categorías de impacto se encuentra en la

ilustración 4. La ilustración 5 muestra la contribución de los procesos en las categorías de impacto de uno de los escenarios. Se observa que la producción de ácido acético y ácido anhídrido tiene mayor impacto en CMS. La producción de ácido anhídrido, ácido acético y celulosa es responsable del 35% de las emisiones de GWP mientras que la producción del marco contribuye al 30% de las emisiones.

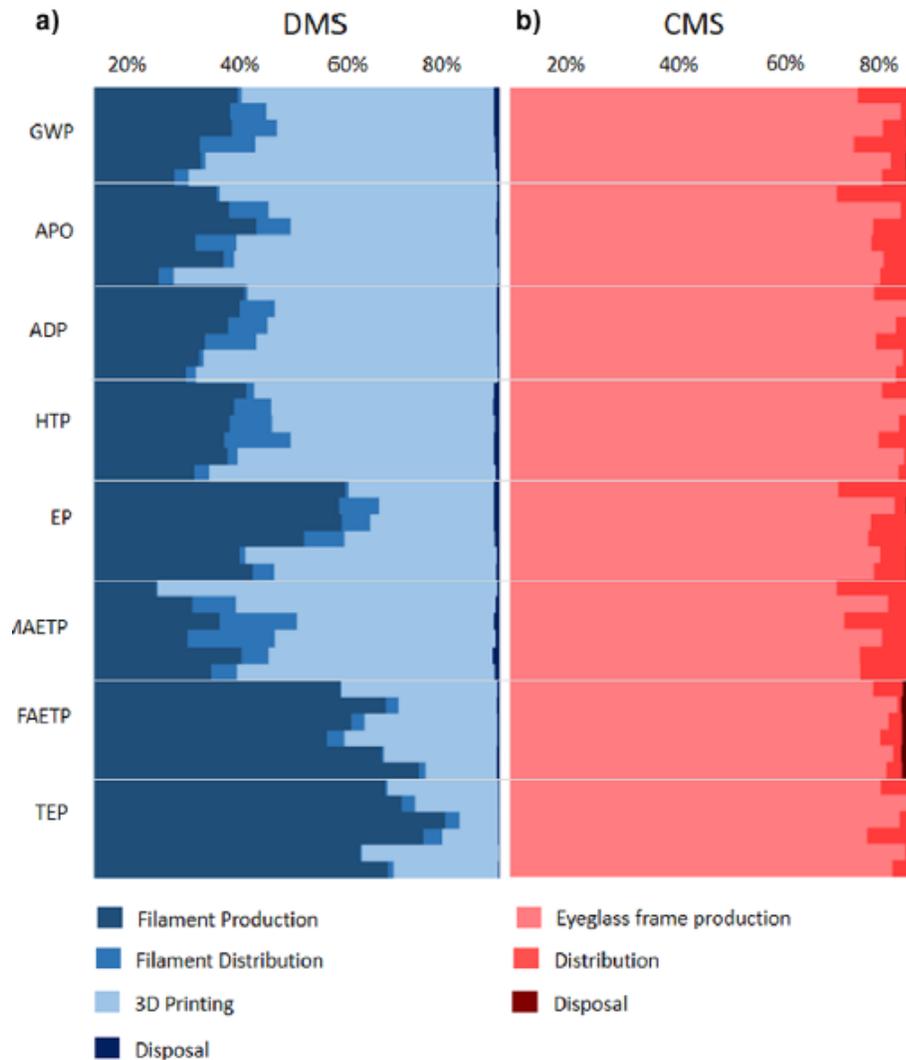


Ilustración 4. Análisis de contribución por fases.

Fuente: (Cerdas et al., 2017)

El escenario para CMS, es sensible respecto a los impactos FAETP, TETP y HTP los cuales principalmente contienen ácido anhídrido y ácido acético. Para el caso de DMS, el impacto ambiental se dividió en dos grandes focos. El primer foco es que el 60% a 75% de los impactos en las categorías GWP, APO, ADP, MAETP y HTP

se debe al proceso de impresión. El segundo foco corresponde al proceso de producción de PLA, ya que este es responsable por la mayoría de impactos en EP, FAETP y TEP. Cabe resaltar que este impacto puede ser mayor en producción FDM (Fused Deposition Modeling), ya que en esta la demanda es mayor por lo cual se requiere una cantidad de energía mayor para producir más rápido y con mayor calidad las partes, incrementando 15 veces el promedio de consumo energético de 12.71 kWh/kg. En el Mejor-peor escenario definidos en la tabla 1 (caso 4 y 6 respectivamente), muestran diferencias en la mayoría de las categorías, principalmente GWP, APO y ADP, donde cambios en la demanda energética puede aumentar el impacto ambiental.

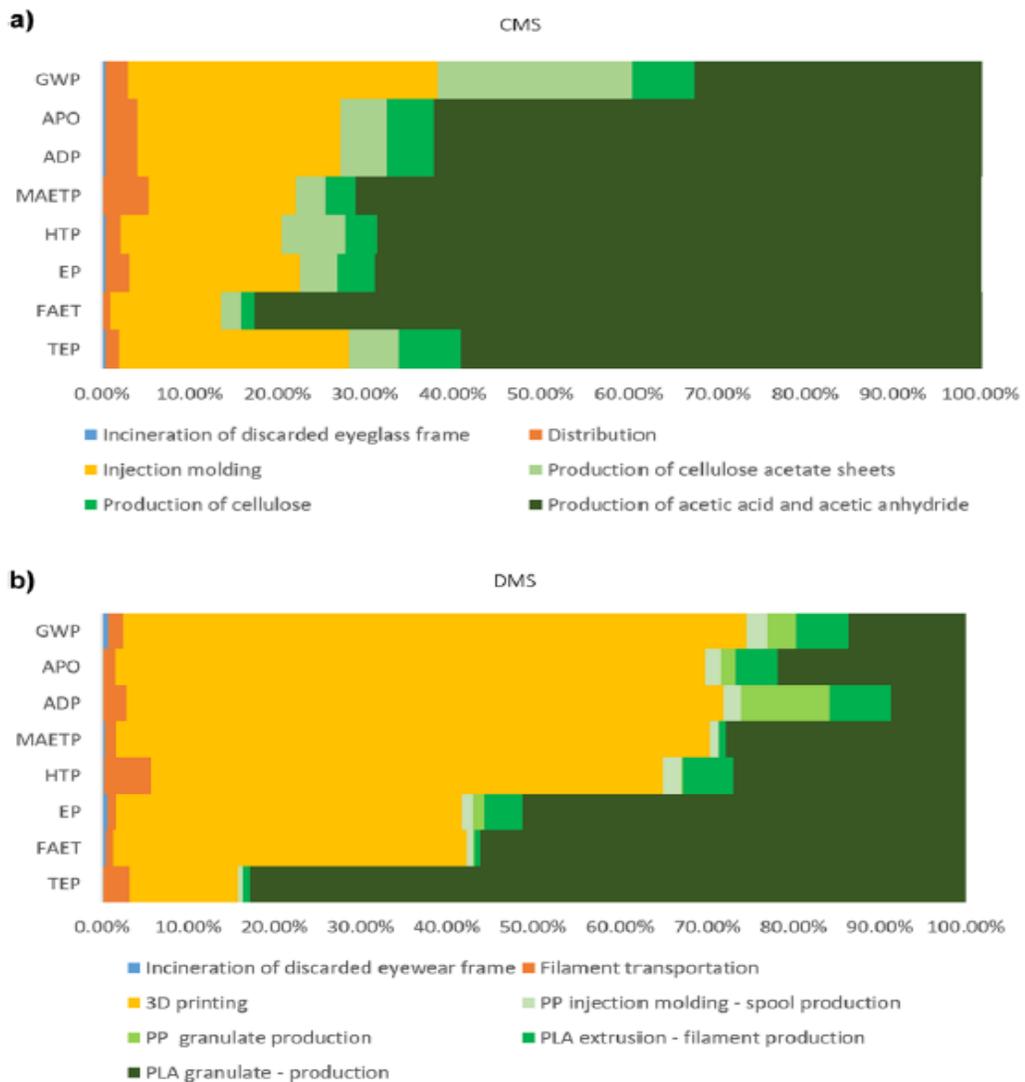


Ilustración 5. Análisis de contribución por procesos.

Fuente: (Cerdas et al., 2017)

Discusión de resultados

Eficiencia energética: Se observa que el consumo energético de la impresión 3D afecta por encima del 70% la mayoría de indicadores como lo son GWP, APO, ADP. Dicho lo anterior, si se mejora el consumo energético, el cual se traduce en reducir el tiempo de producción, los impactos ambientales se verán mayormente reducidos. A la manufactura aditiva le conviene la fabricación de pocas unidades debido a la velocidad de fabricación, ya que todavía es una tecnología en desarrollo, pero con los avances tecnológicos los procesos de fabricación serán más rápidos.

Material usado: El material usado en la impresión 3D es el PLA, el cual es el más común. Este material causa impactos en las categorías de EP, FAETP y TEP los cuales tienen en común la toxicidad. Esto se debe a que el material PLA no es reciclable, ya que no hay una recolección oficial de residuos de PLA de impresión 3D y una infraestructura adecuada, además, se dificulta la distinción de este material junto a otros como el PET perjudicando aún más el reciclaje. Para reducir este impacto, se recomienda la implementación de filamentos más respetuosos con el medio ambiente. Un ejemplo de estos son los biofilamentos, los cuales no contienen químicos, agregando subproductos como mejillones, trigo y granos de café.

Finalmente, respecto a la huella de carbono e hídrica, un estudio menciona que (Morao & de Bie, 2019), para de una tonelada de PLA, este genera 501 KgCO_2eq y 36.1 m^3 agua equivalente respectivamente, el cual es un 75% menos frente a otros plásticos tradicionales. Ahora bien, para un carrete de 900g de PLA, genera 0.497 KgCO_2eq y 0.0358 m^3 agua equivalente.

6.3 Caso 2: Realidad virtual

El objetivo del siguiente estudio es mostrar el impacto ambiental relacionado a un dispositivo VR (Andrae, 2017), por lo tanto se empleó la metodología LCA para tal fin.

Objetivo, alcance y unidad funcional

Para la realización de este estudio, se utilizó Simapro 8.2.3.0 (el software de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) -líder en el mundo académico- que permite hacer el cálculo del impacto ambiental, social y económico asociados a un producto, servicio u organización a lo largo de todo su ciclo de vida) junto a su base de datos del inventario, además se combinó con información disponible acerca del ciclo de vida de un dispositivo VR. La información contiene masas y materiales tipo sub-partes y paquete de partes mientras que el resto de información (distancia de transporte, emisiones e índices) es considerado como secundario. Se plantearon tres escenarios como se muestra en la Tabla 4. Escenarios para ciclo de vida de Realidad Virtual (RV) donde el escenario 1 (s1) es el base, el escenario 2 (s2) asume que los metales utilizados en la fabricación del dispositivo VR como oro, plata y bronce provienen de fuentes secundarias; también se asume que no hay desperdicio. El escenario 3 (s3) asume que el 5% de los dispositivos VR son reusados por dos años y finalmente, el escenario 4 (s4) asume que los procesos utilizan energía eléctrica con bajo impacto ambiental. La unidad funcional escogida para este estudio es “habilitar visualización de video, videos 3D, visualización de imágenes y videojuegos por un periodo de una hora por día durante un año”. La vida útil es de tres años.

Tabla 4. Escenarios para ciclo de vida de Realidad Virtual (RV)

Fuente: (Andrae, 2017)

Scenario 1—Baseline	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Only use ore mining of metals	Only use secondary metals (Au, Ag, Cu)	Ore mining of metals	Ore mining of metals
High Impact Electric Power (HIEP) for wafer processing (WP), Integrated Circuit (IC) assembly and Printed Circuit Board (PCB) assembly (WP and IC and PCB)	HIEP for WP and IC and PCB	HIEP for WP and IC and PCB	Low Impact Electric Power (LIEP) for WP and IC and PCB
HIEP for final assembly (FA)	HIEP for FA	HIEP for FA	LIEP for FA
Airplane distribution	Airplane distribution	Airplane distribution	Airplane distribution
European average impact electric power (EAIEP) for Use	EAIEP for Use	EAIEP for Use	EAIEP for Use
No reuse	No reuse	5% reuse of entire product	No reuse

Definición del sistema e inventario

Se utilizó la base de datos para brindar información acerca del inventario utilizado en la elaboración de las partes que conforman la estructura del dispositivo VR y su componente electrónico desde cradle-to gate. La masa total de un dispositivo VR es de 400g y 450g para los materiales de empaque. Los valores usados para categorías HIEP (High Impact Electric Power) y LIEP (Low Impact Electric Power) son 90 $\mu\text{Pt}/\text{kWh}$ y 4 $\mu\text{Pt}/\text{kWh}$ respectivamente. Para el ensamble final, las partes electrónicas y mecánicas se fabrican a 1000km de distancia de la fábrica de ensamble, estas son transportadas por camión. El consumo eléctrico de un dispositivo VR es 2 kWh. Se utilizó el valor de 10 $\mu\text{Pt}/(\text{ton} \times \text{Km})$ para el transporte. Para la fase de distribución en los cuatro escenarios se asume un recorrido por camión de 1000km desde la fase de ensamble hasta el aeropuerto y 9500km desde China a Europa por transporte aéreo. El transporte aéreo tiene un valor de 70 $\mu\text{Pt}/(\text{ton} \times \text{Km})$. En la fase de uso, el consumo energético de un dispositivo VR es aproximadamente 1.8 kWh. El valor usado por EAIEP es de 88 $\mu\text{Pt}/\text{kWh}$, el cual sirve para aproximar el impacto ambiental del uso energético.

Evaluación de impacto e interpretación

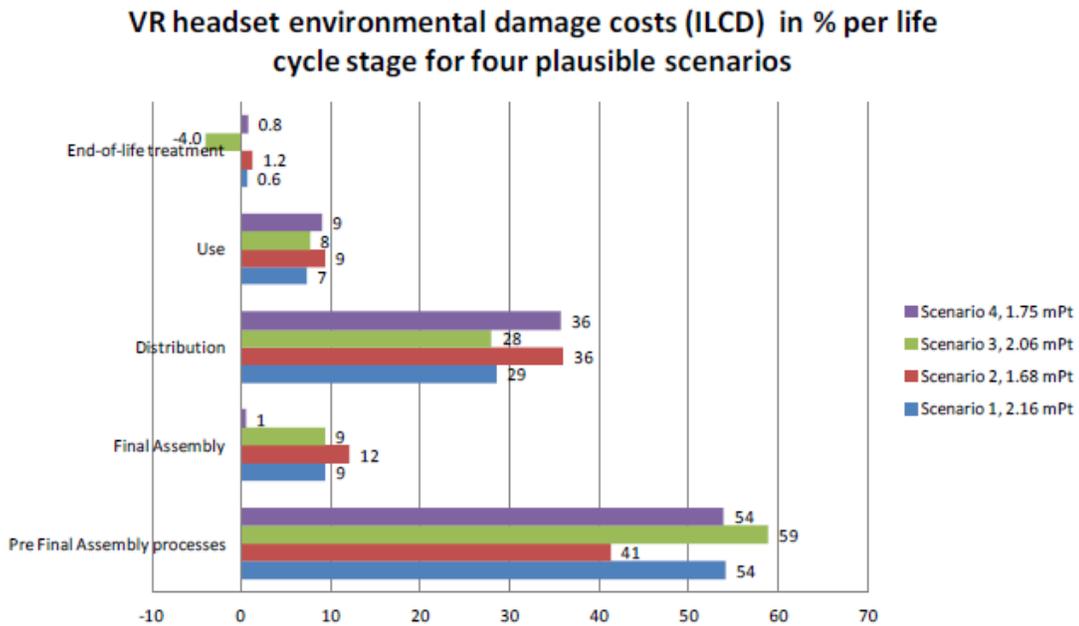


Ilustración 6. Resultados del ACV de los escenarios 1-4.

Fuente(Andrae, 2017)

Para el escenario 1, se puede observar que en la ilustración 6, la fase de distribución es más importante que la fase de uso, un 25% frente a un 8% respectivamente, por lo anterior podemos concluir que esto se debe a las emisiones generadas por el

transporte, tanto terrestre como aéreo los cuales deben de recorrer 10500 km en conjunto para entregar el producto. En el escenario 2, gracias a la utilización de fuentes secundarias de oro, plata y bronce, se puede ver una reducción de daño en la primera fase del casi 20% frente a los otros escenarios. En el escenario 3, se reduce el impacto un poco menos del 5% gracias a la reutilización del 5% de sus productos. Finalmente, en el escenario 4 podemos observar una drástica disminución de impacto en su fase de ensamble gracias a la aplicación de LIEP.

Discusión de resultados

Distribución: Como se observa en la Ilustración 6. Resultados del ACV de los escenarios 1-4. La fase de distribución presenta entre 28% - 36% de daño ambiental en los cuatro escenarios propuestos. Esto quiere decir que el transporte está generando un importante impacto debido a las emisiones. Para mitigar este impacto, podría implementarse sitios de distribución en las ciudades en las cuales sus clientes principales estén presentes, de esta forma se reduce el uso de camiones y aviones para largos trayectos.

Evaluación ILCD: Para el escenario 2, podemos observar un decremento del 20% frente a los demás escenarios en la fase de Pre Final Assembly. Esto quiere decir que recolectar oro, plata y bronce proveniente de chatarra es una buena estrategia para reducir el impacto ambiental. Por otro lado, podemos observar en la fase de Final Assembly, la diferencia al utilizar los dos tipos de electricidad: LIEP y HIEP, siendo LIEP la mejor opción, ya que solo presenta 1% de daño al medio ambiente.

Finalmente, si tenemos que la masa total del dispositivo es de 400g, un 15% corresponde a PLA, lo cual corresponde a 60 g. Dicho lo anterior, la huella de carbono e hídrica de un dispositivo VR con estas características es $0.22 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ y 0.015 m^3 de agua equivalente respectivamente.

6.4 Caso 3: Internet de las cosas

Objetivo, alcance y unidad funcional

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto ambiental que genera el consumo de energía eléctrica de una vivienda común frente a una Smart House. La unidad funcional es el consumo de energía eléctrica anual según el reporte de la OCU (Organización de Consumidores y Usuarios, 2016) En este estudio se evaluará el consumo de: calefacción, aire acondicionado, cocina, electrodomésticos, agua caliente e iluminación.

Definición del sistema e inventario

Se utilizó los datos de la OCU para calcular el consumo energético de una casa en España (Organización de Consumidores y Usuarios, 2016), los cuales son: 5.172 kWh para calefacción, 1.924 kWh para electrodomésticos, 1.877 kWh para agua caliente, 737 para cocina, 410 kWh para iluminación y 170 kWh para aire acondicionado. De acuerdo a lo anterior, el consumo anual es de 9.922 kWh. Para el caso de la Smart House, la cual utiliza un sistema domótico, el consumo anual de energía eléctrica fue de 4.500 kWh.

Evaluación de impacto e interpretación

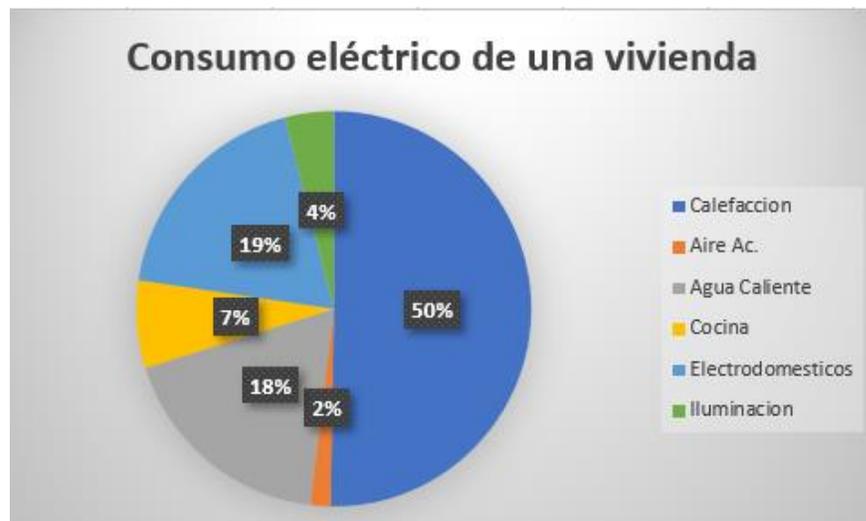


Ilustración 7. Distribución del consumo de energía eléctrica de una casa.

Se observó que los principales focos de consumo energía eléctrica son calefacción y agua caliente, con 50% y 18% respectivamente, esto se debe a que más del 50% de las zonas en España presentan clima frío, lugar donde se realizó el estudio. Por otro lado, los electrodomésticos consumen el 18% de energía eléctrica, esto se debe

a que permanecen contantemente conectados, como son el caso del frigorífico y el congelador, estos consumen anualmente 662 kWh y 563kWh respectivamente, lo cual es de esperarse ya que es necesario para la conservación de alimentos. En la ilustración 8 se observa el ahorro eléctrico implementando un sistema domótico. La iluminación presenta mejores resultados, ya que consume 900 kWh, ahorrando un 80% del consumo eléctrico. Por otro lado, el aire acondicionado y los electrodomésticos presentan ahorros de 25% y 20% respectivamente, en consumo equivale a 3375 kWh y 3600 kWh. Lo anterior es gracias a la gestión integrada del sistema, el cual interviene en los equipos optimizando su funcionamiento, por ende, consigue mayor eficiencia y ahorro en el consumo energético.

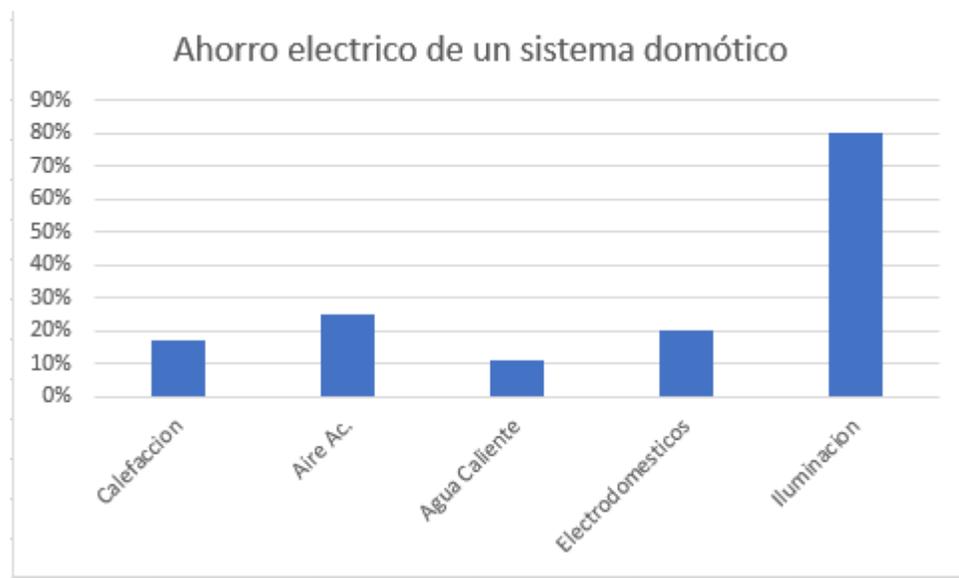


Ilustración 8. Ahorro eléctrico después de un año con sistema domótico.

Discusión

El internet de las cosas aplicado a una casa puede traer beneficios como los observados anteriormente. La domótica es el conjunto de tecnologías encargada de que esto suceda, pues permite la gestión eficiente de los diferentes dispositivos o electrodomésticos implementados en la vivienda, reduciendo el consumo energético y del mismo modo el daño al medio ambiente. Lo anterior se refleja en el resultado de la huella de carbono, el cual se realizó gracias a la utilización de la aplicación *carbon calculator* de Carbon Footprint. Para una vivienda que consume 9.922 kWh, su huella de carbono es de 1.43 toneladas de CO₂, sin embargo, realizando el mismo proceso para una vivienda con sistema domótico, la cual consume 4500 kWh, la huella de carbono de la vivienda es de 0.65 toneladas de CO₂.

6.5 Conclusiones

La presente investigación se ha dedicado a evaluar el impacto ambiental de tres tecnologías de la industria 4.0, las cuales son: manufactura aditiva, realidad virtual e internet de las cosas. Las conclusiones se presentan a continuación:

Gracias al ACV, se pudo cuantificar el impacto ambiental de las 3 tecnologías planteadas y se concluyó lo siguiente:

- La manufactura aditiva presenta un mayor impacto ambiental en su fase de producción de ácido acético y PLA. También, según el estudio, el impacto generado por la producción de PLA puede aumentar si se utiliza un sistema FDE (Fused Deposition Modeling), ya que este requiere más energía al producir más rápido y con mayor calidad.
- Reemplazar el PLA por un material biodegradable puede reducir el impacto ambiental en sus categorías respectivas.
- Basado en el ILCD, obtener el oro de fuentes secundarias como la chatarra es la medida más efectiva para reducir el impacto ambiental asociado a la RV.
- La fase de distribución juega un papel importante en el ciclo de vida como se observa en la RV, representando un impacto del 32% aproximadamente en los 4 escenarios. De lo anterior podemos concluir que es conveniente manejar plantas de producción y ensamble en lugares estratégicos cercanos a los clientes, de esta manera se reduce el recorrido de transporte y de igual forma las emisiones.
- Los sistemas domóticos pueden ahorrar hasta un 50% en consumo eléctrico.

En relación con lo antes expuesto, se observa que las tecnologías expuestas presentan casos con impactos significativos al medio ambiente. Donde la manufactura aditiva y la realidad virtual son aquellas que presentan los mayores índices, una en transporte con 32% y otra en producción de PLA respectivamente.

6.6 Recomendaciones

Una vez concluida el PDG, se considera interesante investigar sobre aspectos relacionados con el impacto ambiental de las tecnologías de la industria 4.0 y se propone:

- Extender los estudios expuestos en esta tesis al estudio de otras tecnologías.
- Trabajar en mejorar el modelo utilizado en esta tesis para determinar el impacto de empresas colombianas que utilicen estas tecnologías.
- Implementar LIEP (Low Impact Energy Power) en la industria, ya que reduce el impacto ambiental asociado al consumo energético.
- Utilizar el modelo LCA en las empresas para determinar el impacto ambiental de ellas mismas o los productos que fabrican.
- A las empresas de manufactura aditiva, sustituir el PLA por filamentos biodegradables para reducir el impacto ambiental generado por los desechos del material y no reciclaje del mismo.
- A las empresas que utilizan oro, plata o cobre en la elaboración de sus productos. Obtenerlo de fuentes secundarias como chatarra, de esta manera reduce el impacto ambiental en la elaboración de los mismos.

7 Bibliografía

- Andrae, A. S. G. (2017). Life Cycle Assessment of a Virtual Reality Device. *Challenges*, 8(2), 15. <https://doi.org/10.3390/challe8020015>
- Center for Life Cycle Inventories. (2015). *ecoinvent Center*.
- Cerdas, F., Juraschek, M., Thiede, S., & Herrmann, C. (2017). Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System. *Journal of Industrial Ecology*, 21, S80–S93. <https://doi.org/10.1111/jiec.12618>
- Guo, Q., & Crittenden, J. C. (2011). An energy analysis of polylactic acid (PLA) produced from corn grain and corn stover integrated system. *Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST 2011*. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2011.5936897>
- ifu Hamburg GmbH. (2015). *Software for life cycle assessment, material and energy flow analysis (MEFA) and carbon footprint calculations*.
- Organizacion de Consumidores y Usuarios. (2016). *¿Cuánta energía consume una casa?*
- COWI. (2018), “Temaanalyse om store datacentre”.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. and Baptista Lucio, P. (1997), *Metodología Dela Investigación*.
- “Industrial Internet of Things (IIoT)”. (n.d.). .
- Keeble, B.R. (1988), “The Brundtland Report: ‘Our Common Future’”, *Medicine and War*, Vol. 4 No. 1, p. 41.
- Leiva, E.H. (2016), “Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Índice”, *Escuela de Organizacion Industrial*, p. 4.
- Luis, J. and Román, D.V. (n.d.). “CONFERENCIA DE DIRECTORES Y DECANOS DE INGENIERÍA INFORMÁTICA Industria 4.0: la transformación digital de la industria”.
- Michael A.Gigante. (1993), “1 - Virtual Reality: Definitions, History and Applications”, *Virtual Reality Systems*, pp. 3–4.
- Morao, A., & de Bie, F. (15 de Octubre de 2019). *Packagin Europe*. Obtenido de <https://packagingeurope.com/low-carbon-footprint-of-pla-confirmed-by-peer-reviewed-life->

