



Universidad Autónoma De Ciudad Juárez

Instituto de Ingeniería y Tecnología

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Maestría en Tecnología

“Caja de herramientas para la autoevaluación de la sustentabilidad en la Industria 4.0”

Tesis para obtener el grado de

Maestra en Tecnología

I.P. Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles

“Becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”

Bajo la dirección de la

Dra. Vianey Torres Argüelles

y la codirección del

Dr. Salvador Noriega Morales

Ciudad Juárez, Chihuahua, noviembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

En este apartado quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las instituciones y personas que con su apoyo económico, científico y humano han colaborado en la realización de esta tesis.

Quiero agradecer a las instituciones que han hecho posible la realización del trabajo presentado: al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico brindado y a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) por haberme abierto las puertas para prepararme profesionalmente y continuar así por el gran camino del saber.

Mi más sincero agradecimiento, a la directora y codirector de tesis, Doctora Vianey Torres Argüelles y Doctor Salvador Noriega Morales, respectivamente, quienes con su acertada orientación, discusión crítica y revisión logré llegar a término el presente documento en tiempo y forma.

Agradezco al Doctor Delfino Cornejo Monroy, Coordinador de la Maestría en Tecnología, por su apoyo brindado durante el tiempo que lleva a cargo de este puesto.

Un agradecimiento especial al Maestro Rogelio Puebla Márquez (q.e.p.d) por su apoyo en una etapa importante de la realización de esta tesis.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por darme vida y salud a lo largo del estudio de este posgrado.

A mis padres y hermano:

A mis padres por haberme enseñado y motivado desde que era una niña para trabajar por mis sueños; por haberme formado como una persona con principios y valores que, sin duda, me ha servido en los distintos ámbitos de mi vida.

A mi hermano por su apoyo y compañía durante estos dos años del programa.

A mis maestros y compañeros:

A mis maestros por su entrega, conocimiento y apoyo otorgados para la culminación de este proyecto.

A mis compañeros por su compañía y apoyo.

A los Doctores Vianey y Salvador:

Dos grandes seres humanos, que durante estos dos años me han brindado su apoyo, sabiduría y consejos.

Amigos y personas queridas:

A mis amigos y personas que forman parte de mi vida, por su comprensión en mis periodos de ausencia para concluir este proyecto de posgrado.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. ANTECEDENTES.....	8
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.3. OBJETIVO	14
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. HIPÓTESIS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.6. ALCANCE Y DELIMITACIÓN.....	17
2. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1. DESARROLLO SUSTENTABLE.....	19
2.1.1. DIMENSIONES DE LA SUSTENTABILIDAD.....	19
2.1.2. INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD.....	24
2.2. ESTRATEGIAS DE LA SUSTENTABILIDAD.....	27
2.2.1. AMBIENTALES.....	27
2.2.2. ECONÓMICAS.....	29
2.2.3. SOCIALES	41
2.2.4. TECNOLÓGICAS	42
3. METODOLOGÍA	48
3.1. MATERIALES.....	48
3.2. METODO	49
3.2.1. INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD.....	49
3.2.2. DISEÑO PILOTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	52
3.2.3. VALIDACIÓN DE EXPERTOS	54
3.2.4. DISEÑO DE LAS IMÁGENES PARA EL REDISEÑO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS	55
3.2.5. DISEÑO DE ENCUESTA DE SATISFACCIÓN.....	56
3.2.6. REDISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN INTEGRANDO ENCUESTA DE SATISFACCIÓN.....	56
3.2.7. APLICACIÓN DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS Y ENCUESTA DE SATISFACCIÓN.....	57
3.2.8. ANÁLISIS DE DATOS PARA DETERMINAR LA UTILIDAD DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS	58
4. RESULTADOS.....	59

4.1.	IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD	59
4.2.	DISEÑO PILOTO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS.....	61
4.3.	VALIDACIÓN DE EXPERTOS	63
4.4.	IMÁGENES PARA CONSTRUIR LA CAJA DE HERRAMIENTAS	67
4.5.	ENCUESTA DE SATISFACCIÓN.....	73
4.6.	REDISEÑO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS.....	74
4.7.	APLICACIÓN DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS Y ENCUESTA DE SATISFACCIÓN	80
4.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar un instrumento para la autoevaluación de parámetros de la sustentabilidad para empresas manufactureras en el entorno de la Industria 4.0, bajo el concepto de caja de herramientas a partir de indicadores de la sustentabilidad en las dimensiones ambiental, económica, social y tecnológica.

Para llevar a cabo este instrumento de autoevaluación, se lleva a cabo una metodología que consta de 8 etapas, iniciando con una exhaustiva revisión de literatura para determinar los indicadores de la sustentabilidad y los niveles de la Industria 4.0 que serán autoevaluados en la caja de herramientas, y finalizando con una investigación de campo que se realiza a una muestra de la industria manufacturera por medio de una encuesta de satisfacción, para así realizar análisis factorial para determinar la utilidad de dicha encuesta.

Finalmente, a manera de resultados y conclusiones, se obtiene un 85.6% de acuerdo en que la autoevaluación de la sustentabilidad en la industria de la manufactura se puede realizar a partir de este instrumento de autoevaluación bajo el concepto de caja de herramientas que contenga indicadores visuales de las cuatro dimensiones sustentables.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Durante décadas las diversas áreas de desarrollo como la industria, sociedad y economía, a nivel global, han trabajado bajo un modelo lineal de producción y consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2017); este modelo está enfocado a la creación de valor, pero su proceso genera residuos que representan un costo tanto económico como ambiental, propiciando un alto grado de contaminación de los ecosistemas, además del efecto que causa el uso ineficiente de recursos (Cabrera Cruz, Gordillo Martínez, & Cerón Beltrán, 2003).

La industria manufacturera, debido a sus procesos, es considerada una de las más grandes consumidoras de recursos y generadora de residuos a nivel global, consumiendo un tercio de la energía mundial a la vez que genera el 36% del total del CO₂ (Millar et al., 2011). De ahí que la industria manufacturera juega un rol esencial en la búsqueda de un cambio en términos de la producción y consumo (Porter & Kramer, 2018).

La necesidad de este cambio se basa en la preocupación, que diversas organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (*UNESCO*, por sus siglas en inglés), Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) y Organización Meteorológica Mundial (*WMO*, por sus siglas en inglés) (United Nations, 1972), entre otras, han planteado la

necesidad de la toma de conciencia acerca de la gravedad de la degradación del medio ambiente, manifestada por primera vez en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en 1972. Esta conferencia es conocida como Conferencia de Estocolmo, donde se propusieron 26 principios. Dentro de los cuales, se expresa que el hombre tiene la responsabilidad de mejorar y proteger el ambiente para las generaciones futuras (United Nations, 1972). El Informe Brundtland, reportado por la Organización de las Naciones Unidas en 1987, introduce formalmente el término de desarrollo sustentable; este término es definido desde entonces como el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad para que las generaciones del futuro satisfagan sus propias necesidades (ONU, 1987). Este mismo propone la restitución del equilibrio ecológico, enfatizando la importancia al bien común y la salud ecológica, ambas relacionadas con la degradación ambiental.

Posteriormente, en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992 se estableció que el desarrollo sustentable es aquél que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin interferir con la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (Meakin, 1992). Asimismo, durante la Conferencia de Río de Janeiro, se propuso la Agenda 21, cuyo objetivo fue encaminar al mundo hacia la sustentabilidad (FMAM, 2000).

Por su parte, la creación del Protocolo de Kyoto, se basa en la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso, el dióxido de carbono y el metano, entre otros (Naciones Unidas, 1998). Mientras que en la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo en 2002, se llegó al acuerdo de que los

gobiernos de los países participantes mantendrían sus esfuerzos para disminuir la pobreza, revertir la degradación del medio ambiente y mantener el desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2002). Por último, en la Cumbre de París, se planteó como objetivo lograr que los países que no estén dentro del Protocolo de Kyoto, ratifiquen y apliquen en la prórroga que está marcada para el 2020 (United Nations, 2015).

En el caso de México para cumplir con los objetivos planteados en el informe Brundtland, en 1988 se puso en marcha la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988). Dados sus objetivos, todas estas propuestas están enfocadas en el cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad.

Alcanzar la sustentabilidad, se basa en el equilibrio del desarrollo de tres dimensiones: ambiental, económica y social (Ren, Manzardo, Toniolo, & Scipioni, 2013); para lo cual se plantea que durante la realización de las actividades humanas se cuiden los recursos naturales, disminuyendo las condiciones de pobreza mediante la distribución equitativa de los beneficios del crecimiento económico, para así atender las necesidades de grupos marginados, brindando igualdad de oportunidades, principalmente en términos de educación, salud y empleo (Rivera Henríquez & Baeza Herrera, 2012).

En el marco de la industria manufacturera y tomando en cuenta su panorama actual y la velocidad con la que evoluciona y se renueva, adoptando la tecnología de vanguardia para cumplir con los estándares internacionales y lograr la competitividad,

el enfoque sustentable en esta área de desarrollo requiere considerar la tecnología como una cuarta dimensión (Tapia Ramírez, 2018).

Dicha tecnología juega un rol esencial, particularmente ahora que se está viviendo una transición en el sistema de producción, en el que las industrias, organizaciones y sociedad en general se ven obligadas a adaptarse a la nueva revolución industrial conocida como Industria 4.0 (Jabbour, Jabbour, Foropon, & Filho, 2018).

Esta nueva revolución industrial plantea la transformación digital de los procesos industriales (del Val Román, 2016). El concepto de la Industria 4.0 se propuso en el marco de la Feria de Hannover en Alemania con el propósito de mejorar la competitividad mundial y el objetivo de alcanzar el liderazgo en la innovación tecnológica. Para lo cual, según Cajal y Ceballos (2016), estas tecnologías contienen un potencial disruptivo englobado en sus diferentes herramientas como el internet industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés), el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), la conectividad, el *big data*, los sistemas ciberfísicos, la inteligencia artificial, el *cloud computing*, la ciberseguridad, la realidad aumentada y la realidad virtual, la robótica colaborativa y la fabricación aditiva o impresión 3D.

A pesar de los grandes beneficios que la Industria 4.0 ofrece, como el impulso a la productividad, el crecimiento de los ingresos y la competitividad ha dejado de lado la solución de los problemas ecológicos que enfrentan los procesos de producción (Bonilla, Silva, da Silva, Gonçalves, & Sacomano, 2018). Pero, si consideramos sus capacidades, es posible integrar a las tecnologías de la Industria 4.0 un proceso de fabricación sustentable, tomando como base los indicadores de las

actividades industriales que tienen un efecto significativo en el ambiente (Jabbour, Jabbour, Foropon, & Godinho Filho, 2018). Es decir, la creación de valor industrial orientada hacia la sustentabilidad debe aprovechar las herramientas de la Industria 4.0 (Stock & Seliger, 2016).

En este sentido, diversos autores han estudiado los procesos de fabricación en términos de la sustentabilidad y han planteado estrategias útiles como el estudio de Stock & Seliger (2016), quienes llevaron a cabo una revisión de literatura para analizar las oportunidades de fabricación sustentable a través de la integración horizontal, que se origina con la unión en una sola empresa de sujetos que generan productos o servicios similares (BID, 2003), así como con la integración vertical, que ocurre cuando una empresa produce sus propios factores de producción de bienes y servicios (Benavides, 2013).

Otra aportación de Jabbour et al., (2018) quienes, basados en once factores críticos de éxito (gestión de liderazgo, cambio organizacional, compromiso de la alta dirección, alineación estratégica, capacitación y desarrollo de capacidades, empoderamiento, trabajo en equipo y equipo de implementación, cultura organizacional, comunicación, gestión de proyectos y, por último, la cultura nacional y diferencias regionales) identificaron a través de una revisión bibliográfica, que las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 tienen el potencial para dirigir la fabricación hacia procesos ambientalmente sustentables. Dichos CSF plantean desafíos y oportunidades para el proceso de implementación simultánea de esta nueva forma de industria, adoptando acciones que disminuyen el impacto que la fabricación de productos tiene sobre el ambiente.

A su vez, Müller, Kiel, & Voigt (2018), analizan las diferencias en las características de la empresa, como el tamaño, el sector industrial y el papel de la empresa como proveedor o usuario de la Industria 4.0., y obtienen resultados empíricos que muestran una relación positiva entre los beneficios ambientales y la implementación de la Industria 4.0, no afectando el tamaño ni el sector industrial.

Partiendo de los antecedentes mencionados y basados en la opinión de Burritt & Christ (2016), se puede contemplar que la sustentabilidad podría verse afectada de manera positiva por la digitalización de los procesos industriales, lo cual facilitaría una contabilidad ambiental externa más precisa, de alta calidad y en tiempo real, asegurando una gestión ambiental.

Con base en lo mencionado, se observa que la literatura que incluye temas de sustentabilidad e industria 4.0, cada vez es más extensa, incluyendo enfoques variados, tales como encuestas en el ámbito manufacturero (Stock et al., 2016; Beier et al., 2017), casos de estudio (Ford & Despeisse, 2016), análisis con estadística descriptiva (Lin, Shyu, & Dig, 2017), y revisiones de literatura (Stock, Obenaus, Kunz, & Kohl, 2018; Jabbour et al., 2018; Burritt et al., 2016; Müller et al., 2018; Jabbour, Jabbour, Godinho Filho, & Roubaud, 2018), entre otros. A pesar del aumento en las investigaciones y aplicaciones relacionadas con el tema de la sustentabilidad y la importancia en su introducción en todas las áreas de desarrollo, las empresas manufactureras aún no logran adoptar e integrar las prácticas sustentables en cada uno de sus procesos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se han desarrollado distintas propuestas como el protocolo “de la cuna a la cuna” (Braungart & McDonough, 2003), el proyecto *The Natural Step* (TNS) (Arenas, Fosse & Huc, 2010); el modelo de Suárez, Reyes Guerra, Rosano Ortega, Garnica González, & Pérez Armendáriz (2017); normas como Empresa Socialmente Responsable (ESR) (Cemefi, 2014) y las ISO (AENOR, 2014; GlobalSTD, 2014); modelos para la implementación de simbiosis industrial como en Kalundborg, Dinamarca (Pinzón Latorre, 2009), Producción más Limpia (UNEP, 2013) y el establecimiento de la Economía Circular (Comisión Europea, 2014), entre muchas otras estrategias que, de manera general, proponen ideas y/o principios para que los procesos en la industria avancen hacia un escenario ecológicamente responsable, no existe una herramienta que permita que las empresas puedan autoevaluar sus procesos de manufactura en términos de sustentabilidad en las dimensiones ambiental, económica, social y tecnológica, lo que implica que no pueden medir el impacto que tienen, ni adoptar una estrategia que les permita transitar hacia la sustentabilidad, ya que como es bien sabido, si no se puede medir no se puede manejar.

1.3. OBJETIVO

Diseñar un instrumento para la autoevaluación de parámetros de la sustentabilidad para empresas manufactureras en el entorno de la Industria 4.0, bajo el concepto de

caja de herramientas a partir de indicadores de la sustentabilidad en cuatro dimensiones: ambiental, económica, social y tecnológica.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, mediante revisión de literatura, los indicadores de la sustentabilidad en sus cuatro dimensiones.
- Diseñar la versión piloto de la caja de herramientas basada en las dimensiones de la sustentabilidad y niveles de la industria 4.0.
- Validar el contenido de la caja de herramientas por expertos.
- Diseñar las imágenes para la caja de herramientas.
- Diseñar encuesta de satisfacción para evaluar la utilidad de la caja de herramientas.
- Rediseñar la caja de herramientas a partir de los datos obtenidos de la validación de expertos, integrando encuesta de satisfacción.
- Aplicar instrumento de autoevaluación y encuesta de satisfacción en una muestra de empresas manufactureras.
- Determinar la utilidad de la caja de herramientas aplicando análisis estadísticos.

1.4. HIPÓTESIS

La autoevaluación de la sustentabilidad en la Industria de la manufactura se puede realizar a partir de un instrumento diseñado bajo el concepto de caja de herramientas que contenga indicadores visuales de las cuatro dimensiones sustentables.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El interés en realizar este proyecto parte de un análisis de lo que representa la industria manufacturera en Ciudad Juárez, ya que según INEGI (2018), el 29.15% de esta industria en el estado de Chihuahua, se encuentra en este municipio, y según el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) (2018), la industria manufacturera es el principal contaminante.

Lo anterior plantea la necesidad de disminuir el efecto que las empresas tiene sobre el ambiente. Para lo cual es necesario que se puedan autoevaluar para conocer cómo se encuentran sus prácticas en términos de sustentabilidad, para que así, puedan tomar las medidas y acciones necesarias que contribuyan en el desarrollo sustentable donde la industria juega un rol esencial debido a su efecto positivo en las dimensiones económica y tecnológica, y negativo en el ambiente.

Es por esta razón que el diseño de un instrumento de autoevaluación de la sustentabilidad para las empresas manufactureras resultaría en un beneficio ambiental, económico, social y tecnológico al plantear prácticas como monitoreo de los consumos de agua, electricidad y gas natural; controles de retornos de inversión por prácticas sustentables y tecnologías implementadas; al comunicar con los clientes, proveedores y empleados el comportamiento ambiental de la empresa, y aplicar procesos que incluyan estrategias como la ecoinnovación en sus procesos industriales, entre otros.

1.6. ALCANCE Y DELIMITACIÓN

La caja de herramientas es diseñada específicamente para la autoevaluación de la sustentabilidad en la industria 4.0 de empresas manufactureras, no excluyendo giros ni tamaños de estas. Para determinar los tamaños y giros nos basamos en datos de INEGI y OCDE, respectivamente (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Tamaño de las industrias. Fuente: INEGI (2004)

Tamaño	Industria
Micro	0 – 10
Pequeña	11 – 50
Mediana	51 -250
Grande	215 y más

Tabla 2. Clasificación de las empresas manufactureras por tecnología. Fuente: basada en OCDE (2001)

Alta Tecnología	Integratoras
	Proveedores
	Aeroespacial
	Equipo de cómputo y maquinaria de oficina
	Electrónica-comunicaciones
	Farmacéuticas
Media-alta Tecnología	Instrumentos científicos
	Vehículos de motor
	Maquinaria eléctrica
	Químicos
	Automotriz
	Equipo de transporte

Media-baja Tecnología

Maquinaria no eléctrica
Productos de plástico y hule
Fabricación de barcos
Otras manufacturas
Metales no ferrosos
Productos minerales no metálicos
Productos metálicos fabricados
Refinación de petróleo

Baja Tecnología

Metales ferrosos
Impresión de papel
Textiles y prendas de vestir
Alimentos, bebidas y tabaco
Madera y muebles

Este proyecto se centró en la aplicación de la caja de herramientas en un periodo que comprende los meses de abril a octubre de 2019.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. DESARROLLO SUSTENTABLE

La sustentabilidad se conoce como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987). Por lo que, dadas las necesidades de desarrollo, bienestar y cuidado del ambiente se están adoptando las estrategias de sustentabilidad y se están aplicando en las diversas áreas del desarrollo, particularmente en la industria de la manufactura (Beekaroo, Callychurn, & Hurreeram, 2018). Es bien sabido que, en general, la industria se enfoca en el desarrollo de productos, la optimización de procesos y el uso eficiente de los recursos desde la perspectiva económica, dejando de lado el cuidado del ambiente y la sustentabilidad.

2.1.1. DIMENSIONES DE LA SUSTENTABILIDAD

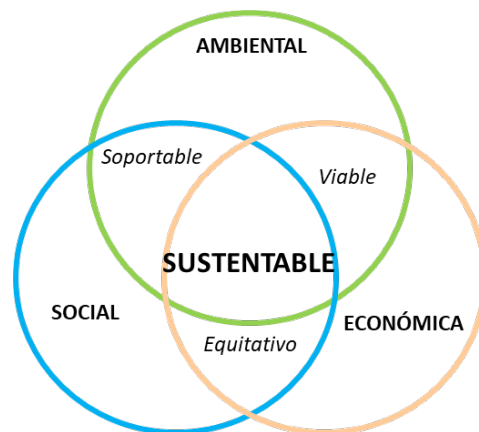


Figura 1. **Dimensiones de la sustentabilidad propuestas originalmente.** Fuente: Informe Brundtland, 1987

El desarrollo sustentable es abordado principalmente sobre tres dimensiones: ambiental, económica y social. En la Figura 1 se pueden observar las dimensiones de la sustentabilidad que, de manera oficial, se propusieron hace 32 años en el Informe Brundtland. Asimismo, se observa que para que un desarrollo sea sustentable, deben cubrirse dichas dimensiones, ya que, de acuerdo con Salcedo, Reboloso, & Barber (2010), si sólo se cubren las dimensiones social y económica, será un desarrollo equitativo, pero no viable, soportable, ni sustentable; si se cubren las dimensiones social y ambiental, será un desarrollo soportable, mas no viable, ni equitativo, ni sustentable; si se enfoca en las dimensiones ambiental y económica entonces se tiene un desarrollo viable, pero no equitativo ni soportable y, por lo tanto, tampoco sería un desarrollo sustentable.

Cada una de estas dimensiones, así como la dimensión tecnológica -propuesta en el capítulo anterior para el desarrollo de esta investigación-, cumple con su propio rol en el desarrollo de la sustentabilidad.

2.1.1.1. AMBIENTAL

La dimensión ambiental considera aquellos aspectos que tienen que ver con preservar y potenciar la diversidad y complejidad de los ecosistemas, su productividad, los ciclos naturales y la biodiversidad (Achkar, 1999). Dicha dimensión nos da una oportunidad para generar servicios y bienes, partiendo de una obligación cultural de protección al medio ambiente.

Esto basado en Gómez Wagner (2017), quien señala que la dimensión ambiental se refiere al uso eficiente y racional de los recursos naturales, para que sea

posible mejorar el bienestar de las sociedades actuales sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Esto implica tener en cuenta los límites de renovación de los recursos, los ciclos de la naturaleza, y lograr un equilibrio entre las necesidades del hombre y el ambiente. Dichas necesidades están directamente relacionadas con la economía y la tecnología, que son los medios de obtención de bienes, productos y servicios que proporcionan confort.

2.1.1.2. ECONÓMICA

En la dimensión económica se incluyen el conjunto de actividades humanas relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Resultando así necesario redefinir el concepto de la economía tradicional, en especial los conceptos de necesidades y satisfactores. Es decir, las necesidades materiales e inmateriales tanto sociales como individuales (Achkar, 1999). Esta dimensión plantea la necesidad de llevar a cabo prácticas que sean económicamente rentables, pero también social y ambientalmente responsables. Es decir, apuntar al crecimiento económico, sin dejar de lado la equidad social y el cuidado ambiental (Bioguía, 2017).

2.1.1.3. SOCIAL

La dimensión social del desarrollo sustentable, según lo menciona Achkar (1999), consiste en reconocer el derecho a un acceso equitativo a los bienes comunes para todos los seres humanos, específicamente en términos de géneros y culturas. Esto tiene como referente obligatorio a la población enfocándose en sus formas de organización y de participación en la toma de decisiones, considerando la interacción sociedad civil - sector público.

En relación con la dimensión social de la sustentabilidad, es necesario tener en cuenta que implica transitar hacia un nuevo enfoque en el desarrollo que favorezca el uso eficiente de los recursos naturales con el fin de promover la preservación de la biodiversidad. Asimismo, que la dimensión social se encamine hacia la reducción de la pobreza y las desigualdades sociales, para incrementar la justicia y la equidad; lo que puede ser determinante en la conservación del sistema de valores, prácticas y símbolos de identidad que, pese a su evolución y actualización continua, determinan la integración nacional a través de los tiempos; es decir, que la dimensión social se complemente con una sub-dimensión de cultura sustentable; para lo que es necesario que sea parte esencial de las políticas públicas con el fin de que se pueda garantizar la participación de las tres áreas de desarrollo en la toma de decisiones. Este nuevo estilo de desarrollo tiene como meta una nueva ética del desarrollo, cuyos objetivos económicos actualmente enfocados al progreso se subordinen a las leyes de los sistemas naturales y a los criterios de respeto a la dignidad humana y de mejoría de la calidad de vida de las personas (Guimarães, 1988).

2.1.1.4. TECNOLÓGICA

En la dimensión tecnológica se toma en cuenta la creación de la tecnología, difusión de innovaciones y las habilidades humanas (United Nations, 2001) que nos brindan la facilidad de adaptarnos a las necesidades del entorno, para a su vez satisfacer las necesidades de la sociedad. La dimensión tecnológica, en términos de la sustentabilidad, implica la búsqueda y cambio hacia tecnologías más eficientes en el caso de los países industrializados y el desarrollo de tecnologías más eficientes y limpias en países en vías de rápida industrialización.

Como mencionaron Ortiz & Garza (2011), se debe tener como propósito gestionar la aplicación de tecnologías verdes que intervienen en la dimensión tecnológica, como la eco-innovación, que impacta en la reducción de costos, de consumo de energía, del uso dispositivos y edificios inteligentes, entre otras aplicaciones de tecnologías verdes.

El desarrollo de esta dimensión es importante, ya que bajo ésta se sustenta la vida moderna, por lo que resulta fundamental fusionar las acciones con la tecnología, basados en que para cada área existe una herramienta, aplicación o desarrollo que optimice los procesos. De esta manera, las empresas o individuos pueden crecer de manera sostenible, eficiente y eficaz (Bastías, 2019).

Un ejemplo de lo anterior es el caso de EPSON, líder mundial en el segmento de impresión, que muestra que el uso de una menor cantidad de consumibles y repuestos, un menor consumo energético y una mayor eficiencia en la disminución de desperdicios y empaques, permiten disminuir la huella de carbono y contribuir a generar una cadena productiva más eficiente y bajo parámetros de sustentabilidad (Adexus, 2019), que cabe mencionar ha implementado estas acciones en todas sus plantas de manufactura alrededor del mundo.

Lo anterior muestra las posibilidades que la tecnología ofrece para reducir el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente, y así asegurar el desarrollo sustentable.

2.1.2. INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD

La preocupación sobre los deterioros producidos principalmente por el sector de la industria ha llevado al desarrollo de indicadores de la sustentabilidad en sus distintas dimensiones: social, económica, ambiental y tecnológica (Figura 2).

Los indicadores de la dimensión ambiental se enfocan en actividades como monitoreo del consumo de energía eléctrica, agua y gas natural, así como prácticas de eficiencia de su consumo; monitoreo de los residuos que se generan, así como el monitoreo de la fuente de generación y los recursos recuperables; la generación de reportes y control de emisiones de gases peligrosos; conocer si el proceso genera desechos tóxicos (en sus procesos de manufactura, como en sus propios consumos); eliminar el uso de las sustancias tóxicas en los productos (desde el diseño hasta la producción); basar el uso de logística de transportación y distribución de producto manufacturado en decisiones ambientales, y contar con eco etiquetas en caso de que el producto lo requiera (Buttol, et al., 2012; Cai & Zhou, 2014; Castellani & Sala, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014; Lyon & Van Hoof, 2011; Masoumik, Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014).

Los indicadores de la dimensión económica van encaminados en realizar actividades como el análisis de prácticas sustentables en todos sus ámbitos; análisis del ahorro producido por prácticas sustentables; control de retorno de inversión de cada una de las prácticas sustentables implementadas; control de retorno de inversión de cada tecnología implementada, y control de las entradas económicas por

recuperación o transformación de residuos (Bak, Bhattacharya, Edenhofer, & Knopf, 2017; Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, & Olabe, 2007; Buttol, Buonamici, Naldesi, Rinaldi, Zamagni, & Masoni, 2012; Chertow, 2007; Chertow, Ashton, & Kuppalli, 2004; Constable, Gonzalez & Morton, 2016; Dankers, 2004; Davidson, Binks & Gediga, 2016; De Oliveira, Espindola, da Silva, da Silva, & Rocha, 2018; Molamohamadi & Ismail, 2013; Mutisya & Kinoti, 2017; Navarrete, 2015; Pane, Oyler & Humphreys, 2009).

Los indicadores de la dimensión social abordan actividades enfocadas a realizar entrenamiento al personal sobre temas de sustentabilidad; generar una comunicación del comportamiento de la empresa a los trabajadores; conocer qué porcentaje de sus clientes están interesados en que cuente con certificaciones sustentables, y coordinar con el cliente la recolección del producto cuando éste cumple con su ciclo de vida (Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Abdul-Rashid, Sakundarini, Raja Ghazilla, & Thurasamy, 2017; Alkaya & Demirer, 2014; Aranda & Zabalza, 2010; Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, & Olabe, 2007; Castellani & Sala, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, & Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, & Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012).

Los indicadores de la dimensión tecnológica incluyen actividades como sistemas de eficiencia energética en la manufactura de productos; sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción; sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte; manufacturar productos modulares; manufacturar productos que facilitan la reelaboración y renovación, y manufacturar productos que soportan el mantenimiento (Abdul-Rashid, Sakundarini, Raja Ghazilla, & Thurasamy, 2017;

Blohmke, 2014; Bossle, de Barcellos, Vieira, & Sauvée, 2016; Buttol, Buonamici, Naldesi, Rinaldi, Zamagni, & Masoni, 2012; Camisón & Villar-López, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, & Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, & Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014).

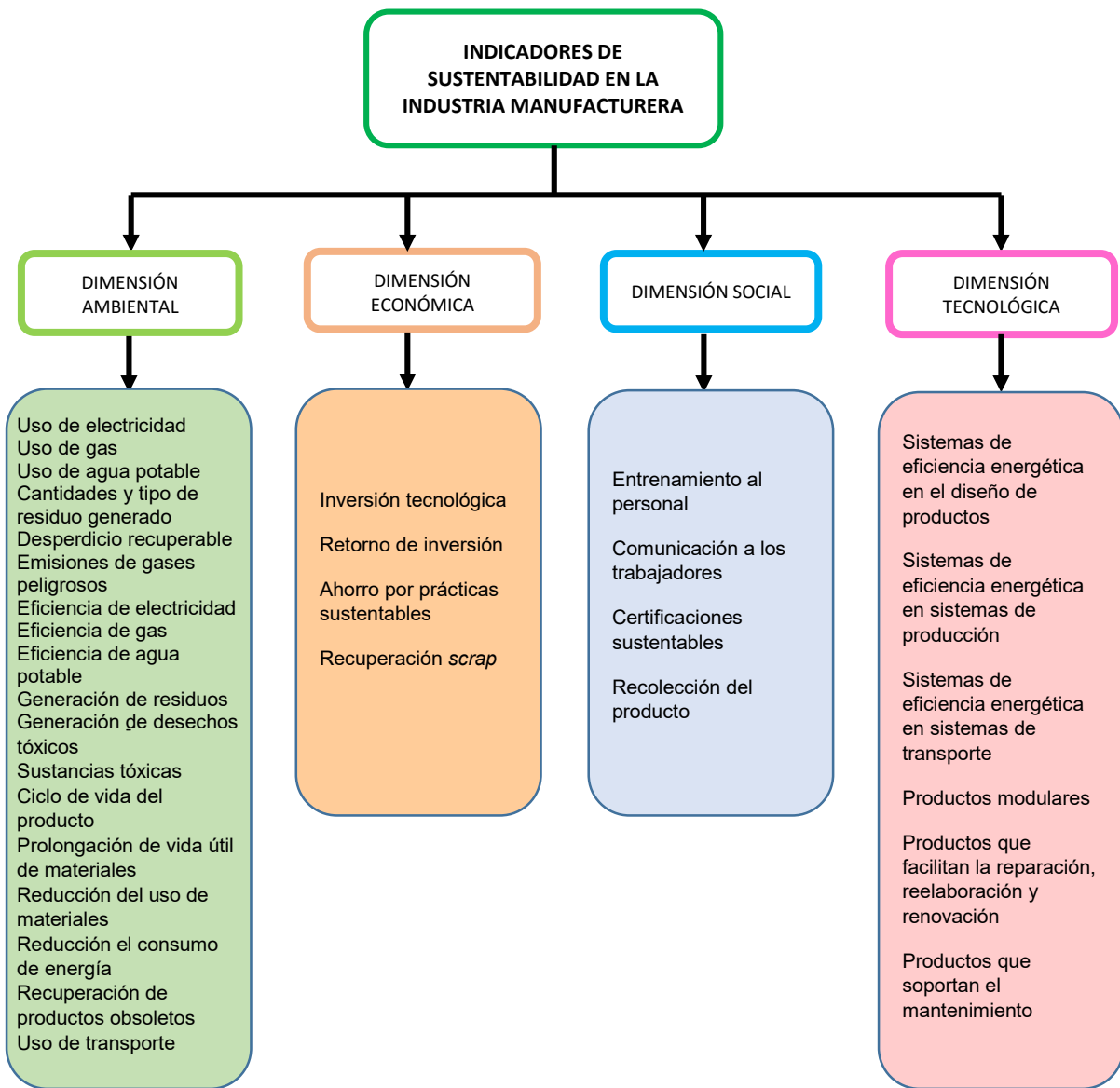


Figura 2. **Actividades de indicadores según su dimensión.** Fuente: esta investigación

2.2. ESTRATEGIAS DE LA SUSTENTABILIDAD

2.2.1. AMBIENTALES

Las estrategias ambientales son aquellas que tienen como objetivo prevenir o reducir los riesgos que afectan el ambiente, llevando así a una mejor calidad de vida. Entre algunas de las estrategias ambientales se encuentran las siguientes:

➤ Sistemas de Gestión Ambiental

Los sistemas de gestión ambiental son un conjunto de normas y procesos que están enfocados en la prevención, mejoramiento y conservación de la calidad ambiental (Buros Castillo, 1996).

Al hablar de Gestión Ambiental en las empresas, encontramos diversas propuestas de acciones para mejorar el comportamiento de la empresa respecto a los asuntos ambientales internos y externos a nivel internacional (Pardavé Livia, 2006):

- El Sistema de Gestión Medioambiental de la Organización Internacional de Estandarización (ISO).
- El Modelo de la Cámara de Comercio Internacional.
- El Modelo la firma alemana Ernst Winter y Sohn.
- Programas de Producción más Limpia de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).
- Programas de Prevención de la contaminación de la EPA.
- Iniciativa Zeri (*Zero Emissions Research Initiatives*).

➤ Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El MDL es un acuerdo que se establece en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1998), que permite a las empresas y gobiernos de los países industrializados (mencionados en el Anexo 1 de dicho Protocolo) respaldar o suscribir acuerdos para cumplir con su objetivo, que es en primera instancia, la reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

En este sentido, los gobiernos o empresas de los países industrializados pueden realizar inversiones en proyectos de reducción de GEI en países en desarrollo y el volumen de dichas reducciones es reconocido como parte de sus compromisos de reducción de emisiones de GEI (Villavicencio, 2004).

➤ De las 3R a las 10R

Es una estrategia ambiental propuesta en el 2004 por Pardavé Livia, que tiene como objetivo ayudar a transformar las dificultades en oportunidades, los gastos en ahorros y los riesgos en beneficios, a la vez que se contribuye con el futuro de nuestro planeta. Esta estrategia está basada en 10 palabras que se convierten en acciones para lograr su objetivo (Pardavé Livia, 2006). A continuación, se muestra el significado de cada una:

- *Reordenar*, propone la adopción del principio: “el que contamina paga” introducir costos ambientales dentro de los costos de producción.
- *Reformular*, productos reciclables y biodegradables → protección del ambiente, uso de fuentes renovables.

- *Reducir*: consumo de recursos naturales, agua y energía; eliminar uso de materiales peligrosos.
- *Reutilizar*, productos, envases, empaques/embalajes → protección de la naturaleza.
- *Refabricar*, desarrollando procesos de desmontaje, inspección, reabastecimiento, remontaje y ensayo final para hacer procesos y/o productos más útiles y menos contaminantes.
- *Reciclar*, materias primas derivadas del producto final pueden ser renovadas para muchos productos indefinidamente.
- *Revalorizar*, energéticamente los procesos, productos y residuos.
- *Rediseñar*, productos, equipos y procesos, sistemas que aumenten la eficiencia ambiental.
- *Recompensar*, incentivos: económicos y de reconocimiento, a la innovación relacionada con acciones medioambientales, como los impuestos a quienes provocan contaminación para que sea costoso causarla, no subvenciones para actividades de consumo excesivo de recursos naturales, exención de impuestos para adopción de tecnologías limpias y equipos de control, financiación de proyectos que reduzcan impactos ambientales.
- *Renovar*, basarse en un pensamiento circular, y desechar el pensamiento lineal, considerando que la naturaleza no es ilimitada.

2.2.2. ECONÓMICAS

- Producción más Limpia

La producción más limpia (P+L) es un puente que conecta la industria y la sostenibilidad, con ayuda de la tecnología (Geiser, 2001). La importancia de esta forma de producción radica en su capacidad de reducir la generación de los residuos de los procesos de producción industrial y sus emisiones por medio del uso eficiente recursos como agua, energía y materias primas (Fresner, Jantschgi, Birkel, Bärnthaler, & Krenn, 2010). Dada la importancia que esta forma de fabricación está tomando en la industria de la manufactura (Klemeš, Varbanov, & Huisinigh, 2012), se han desarrollado pasos esenciales para implementar la P+L en las empresas (Rojas, 2011):

- 1) *Inicio del ciclo;*
- 2) *Análisis de situación actual;*
- 3) *Balance de materiales y análisis del proceso;*
- 4) *Definición de oportunidades y acciones de mejora*
- 5) *Asignación de prioridad a las opciones*
- 6) *Definición de planes de implementación;*
- 7) *Culminación, seguimiento y evaluación*

Las actividades necesarias para cubrir estos pasos inician con la solicitud del apoyo gerencial y la definición de los principales objetivos del programa con el fin de planificar las actividades generales. Para esto formar un grupo integrado por personal de las diferentes áreas de la organización.

En el segundo paso se requiere conocer el estado actual de la empresa. Para lo cual es necesario recopilar la información de la organización, hacer un reconocimiento de la planta con el fin de identificar los sitios de alto consumo de

recursos, y los que reportan generación de emisiones o vertidos importantes. Posteriormente se esquematiza, a través de diagramas de flujo e identificando entradas y salidas en dichos procesos.

Después de la esquematización de los procesos que pueden significar un uso ineficiente de recursos o una fuente de contaminantes se da inicio al seguimiento. Para lo cual se definen los recursos y materias primas que se van a cuantificar y se calendarizan los periodos de evaluación. También es necesario realizar un análisis de las posibles causas de los problemas identificados. Para elaborar el balance de uso de materiales se completa el diagrama de flujo con datos cuantitativos.

En el paso cuatro el equipo conformado para este propósito realiza un análisis de la empresa. Para lo cual primero se les ofreció capacitación en este tema. Posteriormente, se llevan a cabo sesiones de discusión y de lluvia de ideas donde se propongan las opciones de mejora, partiendo de un análisis de causas/efectos, haciendo una descripción de los efectos y sus costos. Se pueden utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa o de espina de pescado.

Posteriormente se deben definir las estrategias de producción más limpia a aplicar con el fin de disminuir el consumo de recursos y de esta manera limitar la generación de emisiones, propiciando el uso eficiente y la disminución de los efectos negativos del proceso de producción sobre el ambiente.

A partir de un análisis dirigido a la implementación de las opciones generadas en la etapa anterior se obtiene el orden prioritario de las acciones. Categorizando inicialmente las acciones que pueden llevarse a cabo primero. Posteriormente, se

lleva a cabo un análisis de factibilidad técnica, ambiental y económica de cada acción y que su implementación puede ser secundaria.

El sexto paso consiste en planificar la implementación de las acciones y prácticas sustentables con la especificación de período de ejecución de cada acción. Donde el período sigue el orden de importancia de implementación generado en la etapa anterior. También se debe generar un plan específico de actividades, personal responsable, fechas de inicio y término, recursos necesarios, costos de implementación y ahorros.

En esta etapa es necesario desarrollar indicadores de eficiencia con los que se pueda cuantificar la situación previa, y monitorear los avances o cambios resultantes de la implementación de las acciones y prácticas sustentables.

Finalmente, en la etapa de culminación, seguimiento y evaluación del ciclo, el equipo asignado debe supervisar que se sigan los planes, y en el caso presentarse variaciones, estas se deben documentar para ser analizados posteriormente y ofrecer un control adecuado. Para lo cual es necesario generar un plan de seguimiento que definan los indicadores y las acciones correctivas. Esta fase también involucra la realización de una reunión de cierre del ciclo del programa de producción más limpia.



Figura 3. Priorización de acciones de la Producción más Limpia. Fuente. Rojas, 2010.

La priorización de acciones de la producción más limpia según la CEGESTI (2010), inicia con el rechazo, seguido de la reducción, el reúso, el reciclaje, el tratamiento de los materiales y los residuos y la disposición al final de la vida útil, tal como se muestra en la Figura 3.

➤ Simbiosis Industrial

En la simbiosis industrial se busca la interacción positiva entre distintas empresas, que operan separadas, para aumentar su ventaja competitiva a través del intercambio de recursos y energía (Diez Martínez, Villalobos, & Ruiz, 2015). Un ejemplo es el caso de Kalundborg, Dinamarca en 2002, mostrado en la Figura 4. La simbiosis industrial de acuerdo con Erkman (2004) está conformada por cuatro estrategias:

- 1) *valorar los residuos como recursos,*
- 2) *cerrar el flujo de material y minimizar las emisiones,*
- 3) *desmaterializar la economía y*
- 4) *descarbonizar la energía.*

Donde la primera estrategia se enfoca en darle valor a los residuos de una empresa y los considera como recursos o materias primas de otras empresas; asimismo, es importante alentar el uso de los empaques y embalaje de materiales hechos a base de polímeros como materia prima para otras industrias.

Para cerrar el flujo de materia y minimizar las emisiones se requiere de una política del reciclaje, que puede ayudar a estabilizar y/o reducir los flujos de material,

pero no necesariamente reduce su velocidad, ya que en su forma actual es a menudo una actividad relativamente contaminante que consume energía y que disipa varias sustancias en el ambiente.

Mientras que la tercera estrategia se centra en la reducción tanto de entrada de materia prima en el proceso de producción de bienes y servicios, como de generación de desperdicios y desechos de sustancias tóxicas al ambiente. En tanto que el proceso de eliminar el dióxido de carbono se obtiene a partir, en primer término, de la optimización de flujos de energía en las actividades de procesamiento y transporte de materiales, y en segundo término de la producción de energía limpia que se encamine a reducir el uso de hidrocarburos responsables de la emisión de contaminantes. Por ejemplo, el caso del parque eco-industrial en Kalundborg, Dinamarca (Figura 4), en el que se lleva a cabo intercambio de sustancias y para su uso se realizan adaptaciones tecnológicas (Pinzón Latorre, 2009).

El funcionamiento de este parque industrial se basa en una estructura similar a la de una cadena alimenticia que abarcan una gran variedad de especies que interactúan en este caso con los recursos materiales disponibles, ordenando las empresas con el fin de controlar la complejidad de las actividades industriales de la región (Fernández, 2005). En este caso, la organización de las industrias y su interdependencia propicia la capacidad de adaptación de la ciudad considerando la posible presencia de cambios ambientales, lo que permite mantener estabilidad en su economía. En este sentido Pinzón Latorre (2009) señala que la jerarquización de los sectores productivos propicia una reducción de la carga de desechos materiales y, por ende, disminuye su efecto en los ecosistemas.

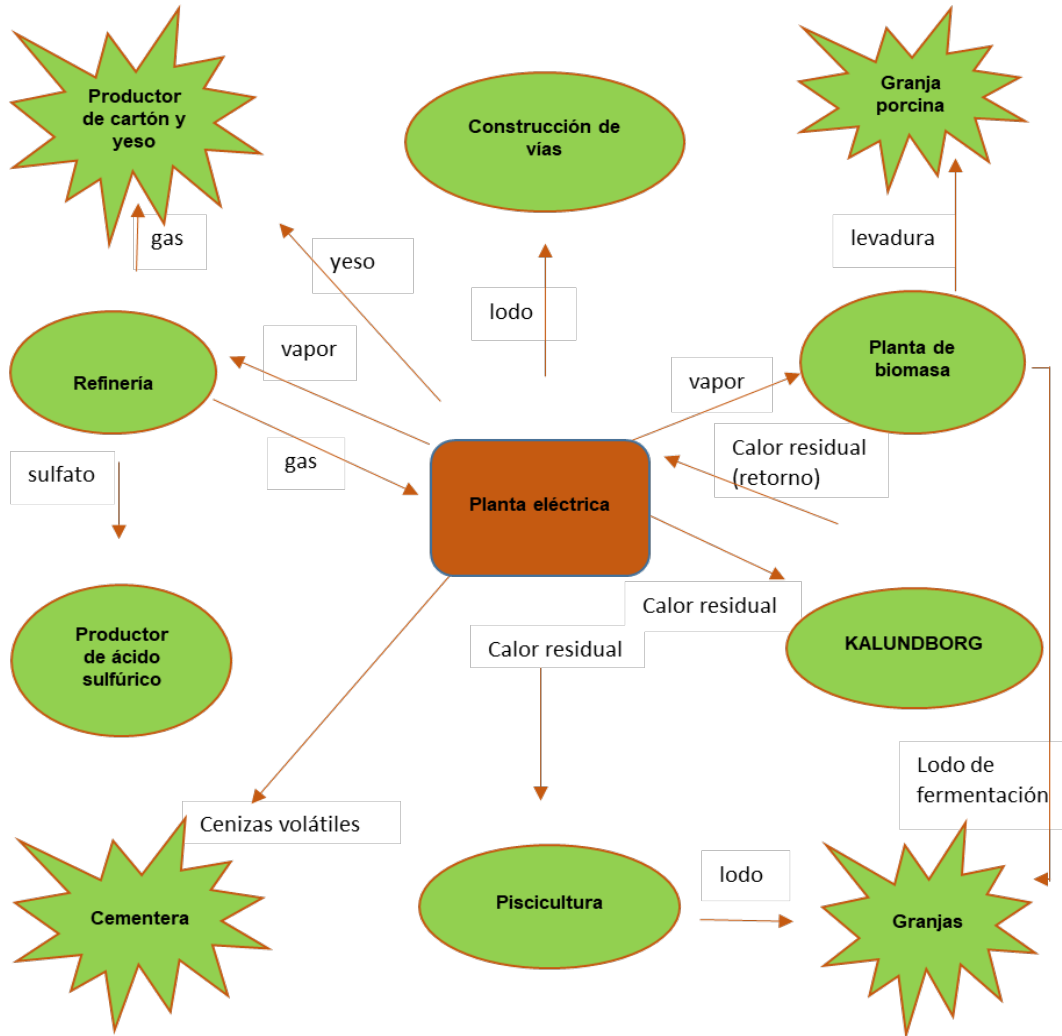


Figura 4. **Simbiosis Industrial de Kalundborg, Dinamarca en 2002.** Fuente: esta investigación, basado en Hansen (2003).

Un ejemplo del funcionamiento de la simbiosis industrial en el caso de parque eco-industrial Kalundborg, son las fábricas generadoras de energía, por un lado, está la planta eléctrica, que es la fuente principal de energía en la cadena de suministro, y la planta refinadora de petróleo que es considerada el respaldo de la primera. En

este caso ambas fabrican su propio producto, pero debido a la interconexión, también consumen materia prima que proviene de la otra empresa.

Dadas las interacciones de las empresas este parque industrial, genera un equilibrio en las dimensiones social y económica, y con la mejora en la eficiencia en el uso de materiales impacta también en la dimensión ambiental. Esto implica que la simbiosis industrial provee oportunidades y beneficios en términos sustentables (ver Tabla 3).

Tabla 3. Beneficios de la simbiosis industrial por dimensión de la sustentabilidad. Fuente: esta investigación

Dimensión	Beneficios	Autores
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - incrementa de la eficiencia en el uso de los recursos; - reduce el uso de recursos no renovables; - reduce las emisiones contaminantes; - reduce la carga del planeta; - reduce la contaminación del aire, agua y suelo; - reduce la huella ecológica; trabajar con materias primas recuperadas. 	Chertow & Park, 2016; Kim et al., 2018; Herczeg et al., 2018
Económica	<ul style="list-style-type: none"> - reduce los costos de los insumos de recursos en la producción; - reduce los costos de gestión de los desechos y la generación de ingresos adicionales; - incrementa el acceso al abastecimiento de materiales más barato. 	Chertow & Park, 2016; Kim et al., 2018; Wenbo, 2011; Herczeg et al., 2018
Social	<ul style="list-style-type: none"> - generación de nuevos empleos; - aumento de la calidad de los empleos existentes; - contribuye a un entorno más limpio y seguro, natural y laboral; - trabaja en colaboración con industrias y organismos gubernamentales; 	Wenbo, 2011; Herczeg et al., 2018

	- contribuye al desarrollo económico regional.	
Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> - adaptación y desarrollo de maquinarias y herramientas amigables con el ambiente - desarrollo de tecnologías para realizar intercambios; - maximiza el uso tecnológico en las redes industriales para fomentar el reúso, la reutilización y reciclaje. 	Chertow, Ashton & Kuppalli, 2004; Simboli, Taddeo, Morgante, 2014; Kim et al., 2018

➤ Economía Circular

Según Prieto-Sandoval, Jaca, & Ormazabal (2017), la economía circular (EC) es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sustentable. A su vez, Yuan, Bi, & Moriguichi (2006) mencionan que el concepto de EC propone conseguir que el flujo de materiales sea circular y el uso de materias primas y recursos se repita una y otra vez a través de múltiples fases, propiciando el uso eficiente de los recursos y disminuyendo la extracción de materia prima, permitiendo a los ecosistemas su regeneración.

Hace más de 40 años, Stahel y Reday (1976) definieron a la economía circular, como la economía que se utiliza para la aplicación de estrategias industriales que buscan la prevención de la generación de residuos, la creación de empleo regional, eficiencia de recursos y desmaterialización de la economía industrial. Asimismo, como también Stahel (1982) enfatizó que la venta del uso en lugar de la propiedad de bienes como modelo de negocio sostenible genera una economía en bucle, lo que

permite a las industrias obtener ganancias sin externalizar costos y riesgos asociados con los residuos.

Una definición más amplia sobre la EC es dada por Geissdoerfer, Savaget, Bocken, & Hultink (2017), que la definen como un sistema regenerativo en el cual el aporte de recursos y desperdicio, emisión y energía, así como las fugas se minimizan al desacelerar, cerrar y reducir el material y la energía a partir de un sistema de bucles; esto se puede lograr mediante un diseño duradero, considerando el mantenimiento, la reparación, reutilización, remanufactura, restauración y reciclaje.

A pesar de que autores definen la economía circular desde distintas acepciones, la definición más famosa es dada por la Fundación Ellen MacArthur, que nos dice que la Economía Circular es una economía industrial que es restauradora o regenerativa por intención y diseño (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Lo anterior implica que la economía circular es clave en la sustentabilidad y en los últimos años se ha mostrado interés en hacer alusión en la relación de estos dos términos, para lo cual Geissdoerfer et al. (2017) reportaron sus diferencias (Tabla 4).

Tabla 4. **Diferencias entre economía circular y sustentabilidad.** Fuente: Geissdoerfer et al., 2017

Aspectos	Economía Circular	Sustentabilidad
Orígenes	De la cuna a la cuna, implementación regulatoria por parte de los gobiernos, cabildeo por parte de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) como el Foro Económico Mundial (FEM), inclusión en agendas políticas como el Horizonte Europeo 2020.	Movimientos ambientales, ONG sin fines de lucro y agencias intergubernamentales, principios en silvicultura y sistemas cooperativos.

Metas	Circuito cerrado, eliminando toda entrada de recursos y fugas del sistema.	Circuito abierto, dependiendo del agente y sus intereses.
Beneficio	Los actores económicos están en el centro, beneficiando a la economía y al ambiente. La sociedad se beneficia de mejoras ambientales y ciertos complementos y suposiciones, como más mano de obra o impuestos más justos.	El ambiente, la economía y la sociedad en general.
Responsabilidades	Empresa privada y reguladores/formuladores de políticas.	Las responsabilidades son compartidas y no están definidas claramente.
Objetivos, compromisos e intereses	Ventajas económicas para empresas y menos recurso consumido del ambiente.	Alineamiento de intereses entre partes interesadas, por ejemplo, menos desperdicio es bueno para el medio ambiente, provee ganancias organizacionales y mejores precios al consumidor.

Sin embargo, Geissdoerfer et al. (2017), señalan que estos conceptos también presentan similitudes:

- Compromisos intra e intergeneracionales.
- Mas agencia para las vías de desarrollo múltiples y coexistentes.
- Modelos globales.
- Integran aspectos no económicos en el desarrollo.
- Cambio de sistema/diseño e innovación en el núcleo.
- Campo de investigación multidisciplinaria e interdisciplinaria.
- Costo potencial, riesgo, diversificación, oportunidades de co-creación de valor.
- Se requiere la cooperación de diferentes partes interesadas.
- Regulación de incentivos como herramientas básicas de implementación.
- Función central de las empresas privadas, debido a los recursos y capacidades.
- La innovación del modelo de negocio como clave para la transformación de la industria.

- Las soluciones tecnológicas son importantes, pero a menudo plantean implementación problemas.

Lo anterior muestra que estos conceptos se complementan en beneficio del ambiente y la economía de las empresas, lo que impacta positivamente a la sociedad.

➤ Ecoinnovación

Surge como una herramienta que busca dirigir a las economías hacia un enfoque verde partiendo de la introducción de cambios en los patrones actuales de producción y consumo (Comisión Europea, 2011). Esto conduce a una economía competitiva, al mismo tiempo que es redistributiva y, por ende, sostenible, y se basa en tres razones fundamentales: mejora la eficiencia en el uso de los recursos al mismo tiempo que cubre los procesos productivos con un menor uso de materias primas y energía; lo que tiene un efecto positivo y significativo en el ambiente al minimiza su deterioro (Hojnik & Ruzzier, 2016). Esto gracias a la reducción del uso de recursos naturales, debido a su vez por un cambio en el consumo por parte de los usuarios, lo que también tiene un efecto en los ecosistemas por la disminución de la contaminación (Álvarez, Fernández, & Romera, 2014).

En la literatura se ha reportado a la eco-innovación en dos vertientes: 1) de procesos y 2) de productos. Según Rennings (2000), la primera reporta por un lado la mejora de los procesos de producción existentes y por otro la incorporación de nuevos procesos. Ambas con el fin de reducir el impacto ambiental a través del cambio de insumos por otros menos contaminantes en su extracción, proceso y

desecho; la optimización de la producción, para lo que considera la adopción de tecnologías eficientes, y la recuperación de productos al final de su vida útil, para su reutilización, reciclaje y disposición final adecuada (Negny et al., 2012).

La segunda vertiente plantea la introducción de un bien o servicio cuya innovación propone una mejora relativa a sus usos previstos, y pueden ser mejoras de componentes técnicos y de materiales (Carrillo-Hermosilla, Del Río & Könnölä, 2010). El análisis del impacto ambiental de las innovaciones de productos se obtiene a partir del análisis del ciclo de vida, que considera la creación, el uso y la eliminación o disposición final. Este proceso busca hacer que los productos existentes sean más respetuosos con el ambiente, pero a la vez busca mejorar la productividad a través de la reducción del uso de insumos en la producción, lo que se traducen en ahorro de costos; esto muestra que los procesos productivos y la protección del ambiente no son incompatibles (Gavrilescu, Campean & Gavrilescu, 2017).

2.2.3. SOCIALES

Las estrategias sociales se pueden representar de manera clara a partir de las reuniones, informes, conferencias y acuerdos, entre otros, tanto nacionales como internacionales (Figura 5), como la Cumbre de la Tierra de Estocolmo (United Nations, 1972), el Informe Brundtland (ONU, 1987), la Cumbre la Tierra de Río de Janeiro (Meakin, 1992), el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998), la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo (Naciones Unidas, 2002), la Agenda 2030 y la Cumbre de París 2015 (United Nations, 2015), por mencionar las más importantes y en orden

cronológico; cuyos resultados reportan propuestas que conforman una guía para avanzar hacia la sustentabilidad.



Figura 5. **Línea del tiempo de los principales acuerdos, reuniones, informes y conferencias sobre la sustentabilidad.** Fuente: esta investigación

Estas propuestas derivan en la generación de acciones que pueden ser llevadas a cabo por el sector económico, del cual destaca la industria de la manufactura, el sector social, para generar un equilibrio con el ambiente al reducir el efecto que los procesos productivos por parte de la industria y el consumo de productos y servicios por parte de la sociedad han generado.

2.2.4. TECNOLÓGICAS

Las estrategias tecnológicas son una clave importante en el camino hacia el paradigma del cambio constante (Jiménez & Catellanos, 2009), ya que las tecnologías deben continuar desarrollándose y gestionándose, para así poder estar preparados ante los desafíos que se están presentando en nuestro país y en el mundo en general.

En la industria, la evolución de la tecnología juega un rol esencial y que ahora plantea una transición hacia la Manufactura Inteligente, la cual integra las herramientas de la Industria 4.0, que ayudan a la toma de decisiones de manera precisa y efectiva en tiempo real gracias a la inclusión de tecnologías emergentes en combinación con las tecnologías de manufactura convencionales (Kang et al., 2016).

Las tecnologías de la Industria 4.0 cuya tendencia de uso está aumentando en los procesos de manufactura inteligente son: el internet de las cosas, los sistemas ciberfísicos, el análisis de grandes cantidades de datos, los sensores inteligentes, la fabricación aditiva y la nube.

La transformación digital a la manufactura inteligente puede requerir rediseño de procesos y redefinición de roles y funciones. Esto conlleva no sólo tener en cuenta la cultura y estructura de la organización, sino a facilitar tanto a personas como a equipos el desarrollo de nuevas competencias en aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales (Banda Gamboa, 2014). Y, sobre todo ofrecer herramientas que permitan a la industria conocer el efecto de sus procesos, el grado de aplicación de las herramientas tecnológicas; de tal forma que la integración de esta información, contribuya a la toma de decisiones basada en el conocimiento preciso de las actividades dirigidas a la sustentabilidad; que propicie el cambio de los procesos que actualmente solo se enfocan en la producción y el beneficio económico.

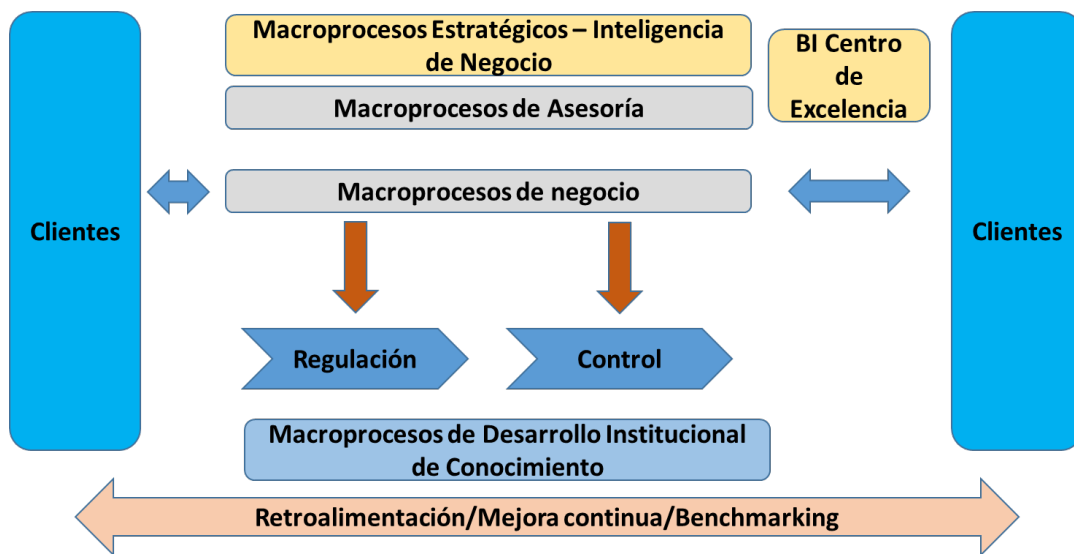


Figura 6. **Modelo de Manufactura Inteligente.** Fuente: Setlak & Pieczonka, 2009

En la Figura 6 se observa el modelo de gestión de manufactura inteligente, que es un sistema de apoyo a la toma de decisiones, basado en métodos aplicados y herramientas de inteligencia artificial, capaz de resolver problemas de decisión complejos, semiestructurados o no estructurados, que requieren procesamiento de conocimiento incompleto, poco fiable, contradictorio o difícil de formalizar (Setlak & Pieczonka, 2009). Pero, que basados en información precisa que se puede obtener del uso de las herramientas como el IoT, se puede agregar en los sistemas de manufactura inteligente el concepto de sustentabilidad

En términos de los avances tecnológicos que generan un menor efecto de las actividades antrópicas sobre el ambiente, el Informe 50 avances científicos y tecnológicos disruptivos (Buluswar, Friedman, Mehta, Mitra, & Sathre, 2014) reporta

los avances críticos necesarios para el desarrollo global sustentable. Este informe parte de la necesidad de la integración de la industria y la sustentabilidad, en la búsqueda de generar un equilibrio en las dimensiones de esta última. Para lo cual se ha planteado la aplicación de tecnologías, como las de la información o la industria 4.0, que generen un efecto global que a su vez establezca el equilibrio necesario, para garantizar a las generaciones futuras la capacidad de satisfacer sus necesidades.

De los avances científicos y tecnológicos que se reportan en dicho informe siete tienen una relación directa con la inclusión digital y la resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental (Tabla 5). Aunque dicho informe se basa en un estudio enfocado geográficamente en el Sur de Asia y en la región subsahariana de África, ya que, de acuerdo con el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas (IDH), ahí se encuentran los países en mayor estado de pobreza (UNDP, 2013), sus resultados pueden ser aplicados a los países de los distintos continentes, ya que el daño ambiental se observa en los ecosistemas a nivel global.

Cabe señalar que los avances relacionados se clasifican en nueve áreas principales, donde la salud global está en primer término seguida de la seguridad alimentaria que va de la mano con el desarrollo agrícola; posteriormente se tienen los derechos humanos, la educación, la inclusión digital, el agua, acceso a la electricidad, la equidad de género, y la resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental. De las cuales, en este caso, solo nos centraremos en las que tengan relación con la sustentabilidad en la industria, basados en la presente investigación.

Tabla 5. **Avances propuestos por LIGTT con sus áreas de clasificación.** Fuente: esta investigación, basada en Buluswar et al. (2014)

Avances	Áreas de clasificación
1. Sistemas biométricos de identificación, útiles para registros de nacimiento, títulos de propiedad, servicios financieros, historiales de educación y médicos.	Inclusión digital
2. Un kit para la instalación de micro redes de energía renovable de forma sencilla, rápida y económica.	Inclusión digital; resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental
3. Una nueva generación de tecnologías de red que reducen radicalmente el costo de expandir la cobertura de banda ancha a las áreas rurales.	Inclusión digital
4. Una nueva generación de dispositivos de "Internet de las Cosas" (IoT) que permiten nuevos servicios para poblaciones de bajos ingresos.	Inclusión digital
5. Sensores de monitoreo distribuidos de bajo costo para identificar toxinas ambientales y sus concentraciones.	Resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental
6. Conjunto de componentes de mini red fotovoltaica solar, para reducir significativamente los costos iniciales.	Resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental; inclusión digital
7. Electrodomésticos para uso doméstico y generación de ingresos que son significativamente más económicos y eficientes energéticamente que los que existen actualmente en el mercado.	Resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental; inclusión digital
8. Nuevas tecnologías de almacenamiento a granel para mini redes descentralizadas, que proporcionan un mejor rendimiento a un costo significativamente menor.	Resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental; inclusión digital
9. Soluciones de administración de redes asequibles y fáciles de usar para mini redes rurales descentralizadas de energía renovable.	Resiliencia contra el cambio climático y el daño ambiental; inclusión digital

Partiendo de un análisis de la información mostrada en este capítulo, podemos decir que, a partir de la identificación de indicadores de la sustentabilidad en las dimensiones ambiental, económica, social y tecnológica, es posible generar un instrumento que permita a las empresas realizar un diagnóstico, para conocer el estado actual, lo que les permitirá tomar las acciones necesarias para transitar hacia un escenario sustentable, en el que las organizaciones garanticen su éxito a largo plazo contribuyendo al desarrollo económico, social y tecnológico, mientras simultáneamente protegen el ambiente.

3. METODOLOGÍA

La presente sección muestra la metodología que se llevó a cabo para el diseño de la caja de herramientas, cuyo fin es medir la sustentabilidad en la industria 4.0, así como los materiales utilizados para la misma.

3.1. MATERIALES

En primer término, se describen los materiales:

- Para la identificación y selección de indicadores se utilizó bibliografía obtenida de la biblioteca de la universidad, así como de bibliotecas virtuales diversas.
- Para el diseño piloto de la caja de herramientas, se utilizaron programas básicos de Office, como *Word versión 16* y *Publisher versión 16*.
- Se utilizaron programas como *MiniTab versión 17* y *Excel versión 16* para hacer el análisis de la validación de expertos.
- Con *Adobe Illustrator versión 16* se realizó el diseño de las imágenes personalizadas para la caja de herramientas.
- Se realizó el rediseño de la caja de herramientas en *PDF Pro versión 16*.
- Para la aplicación de la caja de herramientas, así como la encuesta de satisfacción de ésta, se utilizaron equipos electrónicos como computadoras, celulares y cañones, entre otros.
- Se realizaron los análisis factorial y de resultados en programas como *MiniTab* y *Excel*, respectivamente.

3.2. METODO

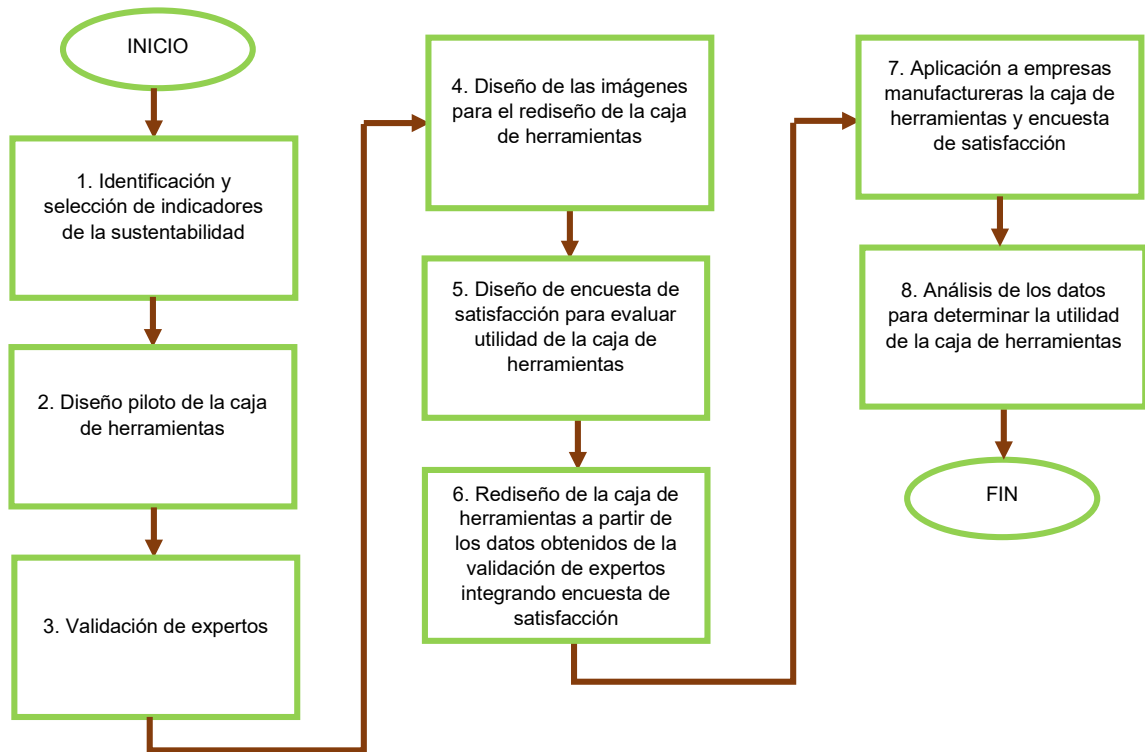


Figura 7. **Método propuesto.** Fuente: esta investigación

3.2.1. INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD

Para la identificación de los indicadores de la sustentabilidad, se consultaron bases de datos en línea, la biblioteca virtual y la biblioteca física de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, de las que se extrajo literatura basada en las palabras claves seleccionadas, tales como “sustentabilidad”, “indicadores”, “ecología industrial” y “simbiosis industrial”, entre otras. De la literatura seleccionada se analizó en primer término el resumen y la introducción, y con esto se determinó la literatura útil para la identificación y selección de los indicadores de la sustentabilidad enfocados a la industria manufacturera. Posteriormente se revisaron los documentos completos para

conocer el efecto y las características de los indicadores seleccionados en la primera fase. De ahí se seleccionaron 45 indicadores adaptados a la industria manufacturera en sus cuatro dimensiones (ambiental, económica, social y tecnológica).

La Tabla 6 muestra la bibliografía utilizada para definir los indicadores de la sustentabilidad para el desarrollo de la caja de herramientas.

Tabla 6. Indicadores de la sustentabilidad. Fuente: esta investigación

Subtema	Autores
<p>Indicadores dimensión ambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso de electricidad -Uso de gas -Uso de agua potable -Cantidades y tipo de residuo generado -Desperdicio recuperable -Emisiones de gases peligrosos -Eficiencia de electricidad -Eficiencia de gas -Eficiencia de agua potable -Generación de residuos -Generación de desechos tóxicos -Sustancias tóxicas -Ciclo de vida del producto -Prolongación de la vida útil de los materiales -Reducción del uso de materiales -Reducción del consumo de energía -Recuperación de productos obsoletos -Uso de transporte 	<p>Ackah, 2015; Alkaya & Demirer, 2014; Bak, Bhattacharya, Edenhofer, & Knopf, 2017; Buttol, Buonamici, Naldesi, Rinaldi, Zamagni, & Masoni, 2012; Cai & Zhou, 2014; Castellani & Sala, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014; Chun & Bidanda, 2013; Constable, Gonzalez & Morton, 2016; Dangelico & Pontrandolfo, 2010; Dankers, 2004; De Oliveira, Espindola, da Silva, da Silva, & Rocha, 2018; Despeisse & Ford, 2015; Dörry & Schulz, 2018; Engadget, 2017; Faulkner & Badurdeen, 2014); Giroto, Alibardi & Cossu, 2015; Han, 2018; Hashim, Bakar & Lim, 2014; Hashmi, Damanhour, & Rana, 2015; Hemming, Pugh, Williams, & Blackburn, 2004; Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010; Jeong & Kim, 2017; LCSP, 2016; Lyon & Van Hoof, 2011; Masoumik, Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Mirata & Emtairah, 2005; Molamohamadi & Ismail, 2013; Mutisya & Kinoti, 2017; Nair & Paulose, 2014; Navarrete, 2015; Ospina & Sánchez, 2013; Pane, Oyler & Humphreys, 2009; Parmigiani, Klassen & Russo, 2011; Peng & Lin, 2008; PROFEPA, 2017; Ranatunga, Rupasinghe & Liyanaarachchi, 2017; Rosen & Kishawy, 2012; Scur & Barbosa, 2017; Shapira, Gök, Klochikhin, & Sensier, 2014; Sing, Olugu, & Musa, 2013; Trianni, Cagno, & Farné, 2016.</p>
<p>Indicadores dimensión económica:</p>	<p>Bak, Bhattacharya, Edenhofer, & Knopf, 2017; Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, & Olabe, 2007; Buttol, Buonamici, Naldesi, Rinaldi, Zamagni, & Masoni, 2012; Chen, Chen, Xu, Liu, Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017;</p>

-Inversión tecnológica y/o sustentable
 -Retorno de inversión
 -Ahorro prácticas sustentables
 Recuperación de *scrap*

Chen, Shih, Shyur, Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014; Chertow, 2007; Chertow, Ashton, & Kuppalli, 2004; Constable, Gonzalez & Morton, 2016; Dankers, 2004; Davidson, Binks & Gediga, 2016; De Oliveira, Espindola, da Silva, da Silva, & Rocha, 2018; Dörry & Schulz, 2018; Engadget, 2017; Erkman, 2004; Falcone, Morone & Sica, 2018; Ghadimi & Heavey, 2014; Han, 2018; Hashim, Bakar & Lim, 2014; Herczeg, Akkerman, & Hauschild, 2018; Joung, Carrell, Sarkar, & Feng, 2013; Lyon & Van Hoof, 2011; Masoumik, Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Mohd & Kaushal, 2018; Molamohamadi & Ismail, 2013; Mutisya & Kinoti, 2017; Navarrete, 2015; Pane, Oyler & Humphreys, 2009; Parmigiani, Klassen & Russo, 2011; Ranatunga, Rupasinghe & Liyanaarachchi, 2017; Shapira, Gök, Klochikhin, & Sensier, 2014.

Indicadores dimensión social:

-Entrenamiento al personal
 -Comunicación a los trabajadores
 -Certificaciones sustentables
 -Recolección del producto

Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Abdul-Rashid, Sakundarini, Raja Ghazilla, & Thurasamy, 2017; Alkaya & Demirer, 2014; Aranda & Zabalza, 2010; Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, & Olabe, 2007; Castellani & Sala, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, & Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, & Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014; Constable, Gonzalez & Morton, 2016; Dangelico & Pontrandolfo, 2010; Davidson, Binks & Gediga, 2016; Despeisse & Ford, 2015; Eltayeb, Zailani & Ramayah, 2011; Engadget, 2017; Girotto, Alibardi & Cossu, 2015; Hashim, Bakar & Lim, 2014; Herczeg, Akkerman, & Hauschild, 2018; Jeong & Kim, 2017; Lyon & Van Hoof, 2011; Mantese, Bianchi, & Amaral, 2018; Masoumik, Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Millson, 2017; Mirata & Emtairah, 2005; Ottman, 2017; Parmigiani, Klassen & Russo, 2011; Puente, Arozamena, & Evans, 2015; Renukappa, Egbu, Akintoye, & Suresh, 2013; Rosen & Kishawy, 2012; Scur & Barbosa, 2017; Shapira, Gök, Klochikhin, & Sensier, 2014; Tian, Govindan, & Zhu, 2014; Wiloso, Nazir, Hanafi, Siregar, Harsono, Setiawan, Mayuranto, Romli, Utama, Shantiko, Jupesta, Sari, Saputra, Fang, & Utomo, 2018.

Indicadores dimensión tecnológica:

-Sistemas de eficiencia energética en el diseño de productos

Abdul-Rashid, Sakundarini, Raja Ghazilla, & Thurasamy, 2017; Blohmke, 2014; Bossle, de Barcellos, Vieira, & Sauvée, 2016; Buttol, Buonamici, Naldesi, Rinaldi, Zamagni, & Masoni, 2012; Camisón & Villar-López, 2014; Chen, Chen, Xu, Liu, & Niu, 2017; Chen, Cheng, & Dai, 2017; Chen, Shih, Shyur, & Wu, 2012; Cheng & Shiu, 2012; Cheng, Yang, & Sheu, 2014; Chertow, Ashton, & Kuppalli, 2004; Constable,

- Sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción	Gonzalez & Morton, 2016; Dangelico & Pontrandolfo, 2010; Dangelico, Pujari & Pontrandolfo, 2017; Dankers, 2004; Davidson, Binks & Gediga, 2016; Engadget, 2017; Erkman, 2004; Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010; Joung, Carrell, Sarkar, & Feng, 2013; Kolk, 2015; LCSP, 2016; Lyon & Van Hoof, 2011; Mantese, Bianchi, & Amaral, 2018; Martin & Eklund, 2011; Masoumik, Abdul-Rashid, Olugu, & Raja, 2014; Mirata & Emtairah, 2005; Navarrete, 2015; Nidumolu, Prahald, & Rangaswami, 2009; Parmigiani, Klassen & Russo, 2011; Renukappa, Egbu, Akintoye, & Suresh, 2013; Rosen & Kishawy, 2012; Rosenthal, Fatimah, & Biswas, 2016; Sabadie, 2014; Sing, Olugu, & Musa, 2013; Staniškis & Katiliūtė, 2016; Urban et al., 2015; Wever & Vogtländer, 2015; Wiloso, Nazir, Hanafi, Siregar, Harsono, Setiawan, Mayuranto, Romli, Utama, Shantiko, Jupesta, Sari, Saputra, Fang, & Utomo, 2018; Winroth, Almström, & Andersson, 2016; Yan & Feng, 2014.
- Sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte	
-Productos modulares	
-Productos que facilitan la reparación, reelaboración y renovación	
-Productos que soportan el mantenimiento	

Con los indicadores seleccionados se desarrolló la caja de herramientas, en la que, en su primera versión, se utilizaron 32 de los 45 indicadores seleccionados originalmente: 18 ambientales, 4 económicos, 4 sociales y 6 tecnológicos.

3.2.2. DISEÑO PILOTO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

La propuesta de cuatro niveles de la industria 4.0, se basa en la caja de herramientas de FESTO (Anderl & Fleischer, 2015), en la que analizan el uso de tecnologías en productos y procesos en el marco de la industria 4.0, y, tanto para productos como para procesos, manejan cinco niveles, los cuales van desde no utilizar ningún tipo de tecnología (nivel 1), hasta la completa automatización, integrando una o varias de las tecnologías de la industria 4.0 (nivel 5).

En este proyecto se adaptaron los cinco niveles mencionados, y se propuso considerar cuatro niveles, donde el nivel 1 tiene como fin exclusivo indicar que la

empresa no con el parámetro propuesto; es decir, aquí se indica claramente que la empresa no lleva a cabo una acción determinada; los tres niveles posteriores, indica que la actividad del parámetro que se está midiendo se lleva a cabo de manera manual (nivel 2); que en la actividad del parámetro que se está midiendo se obtienen datos mediante sensores y/o herramientas/equipos electrónicos para posteriormente realizar el análisis de estos de manera manual (nivel 3), y finalmente que la actividad del parámetro que se esté midiendo se lleva a cabo mediante sensores y/o herramientas/ equipos electrónicos que generan información, misma que se analiza con la integración de herramientas de la industria 4.0.

Después de haber identificado y seleccionado los indicadores de la sustentabilidad (32 ítems) y los niveles de la industria 4.0, se realizó el diseño piloto de la caja de herramientas (Figura 8), en el cual, el recuadro verde representa los indicadores de la sustentabilidad y los recuadros en tonos incrementales de naranja, corresponden a los niveles de integración de las herramientas de la Industria 4.0.



Figura 8. **Bosquejo del diseño piloto de la caja de herramientas.** Fuente: esta investigación

3.2.3. VALIDACIÓN DE EXPERTOS

Antes de diseñar las imágenes de la caja de herramientas, se llevó a cabo una validación de expertos de los ítems que contienen los indicadores de la sustentabilidad, con el fin de determinar si dichos indicadores se encuentran en la industria.

La validación de expertos consistió en la aplicación de la caja de herramientas al menos a cuatro expertos de la industria manufacturera. Este método se usa para verificar la fiabilidad de una investigación. Dicha validación es una opinión informada de personas con trayectoria en el tema y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones (Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez, 2008). Este método consiste en solicitar a expertos la demanda de un juicio hacia un tema en concreto (Cabero Almenara & Llorente Cedujo, 2013); en este caso hacia un instrumento de medición, en el cual se busca que, con la valoración, comentarios y observaciones de los expertos, se definan de manera más clara y específica los parámetros del factor de interés que se seleccionaron para analizarlos, dentro de actividades de la industria 4.0, así como también se decida cuáles son relevantes en este estudio para incluirlos en el instrumento de medición.

El instrumento para validar es una caja de herramientas, cuyos ítems están agrupados en cuatro partes que representa cada dimensión: ambiental con 18, económica y social con 4 cada una y tecnológica con 6 ítems. En total forman un instrumento con 32 indicadores a evaluar.

Para realizar la validación se agregaron a la caja de herramientas versión piloto dos criterios establecidos (Escobar & Cuervo, 2008):

1. Claridad: El ítem se comprende fácilmente, es decir, su semántica es adecuada, con las siguientes opciones como respuesta:
 - El ítem no es claro
 - El ítem requiere bastantes modificaciones
 - El ítem requiere pocas modificaciones
 - El ítem es claro y adecuado

2. Relevancia: El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido, con las siguientes opciones como respuesta:
 - El ítem puede ser eliminado sin afectar la dimensión
 - El ítem tiene alguna relevancia, pero otro lo puede medir,
 - El ítem es relativamente importante
 - El ítem es muy relevante y debe incluirse

3.2.4. DISEÑO DE LAS IMÁGENES PARA EL REDISEÑO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS

El diseño de las imágenes se realizó en Adobe Illustrator, tanto para los indicadores de la sustentabilidad, como para los niveles de la industria 4.0 propuestos. Cabe mencionar, que estas imágenes fueron diseñadas exclusivamente para el desarrollo de la caja de herramientas de esta investigación.

3.2.5. DISEÑO DE ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Dado que, en este proyecto se busca determinar la utilidad en la industria del instrumento de autoevaluación bajo el concepto de caja de herramientas, basados en cuatro clasificaciones que miden la utilidad (Figura 9), se plantean ocho preguntas para, con una encuesta de satisfacción, evaluar dicha utilidad.

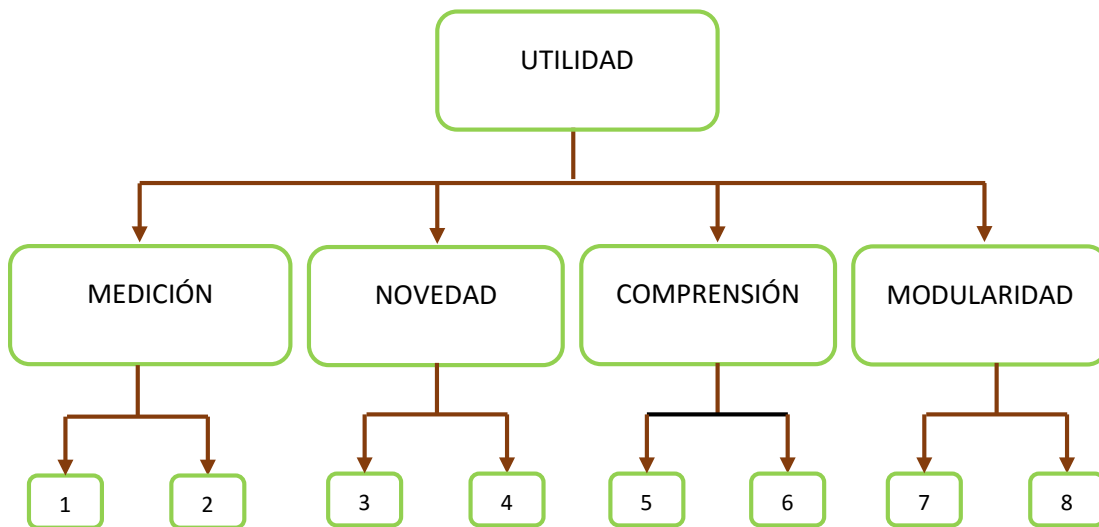


Figura 9. **Clasificaciones de la dimensión utilidad de la encuesta de satisfacción.** Fuente: esta investigación

3.2.6. REDISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN INTEGRANDO ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Habiendo realizado el diseño de las imágenes, se rediseñó la caja de herramientas para obtener la versión final que se aplicará en la industria. En esta versión se agregan dos apartados que se encuentran uno al principio y otro al final. El primero corresponde a información de la empresa como el giro y el tamaño, así como el nombre de la empresa y el puesto de la persona que apoya a evaluar la utilidad del instrumento de medición, la cual cabe destacar corresponderá al área de ambiental,

finanzas, producción, manufactura y/o tecnología; el segundo muestra una encuesta de satisfacción que consta de ocho preguntas que miden la utilidad del instrumento de medición, basada en la escala de Likert.

La escala de Likert es una escala que cuenta con un nivel ordinal (Namakforoosh, 2000) y se construye por una serie de preguntas a los que se le da un valor fijo y se solicita la opinión del interrogado, la cual puede tener un grado de acuerdo o desacuerdo. Se decidió basarnos en Likert porque es de fácil uso y los resultados pueden derivarse a porcentajes, los cuales son más fáciles de interpretar. Asimismo, se puede obtener el Alpha de Cronbach, que nos muestra la confiabilidad de los resultados (Spooren, Mortelmans & Denekens, 2007).

3.2.7. APLICACIÓN DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS Y ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

En esta etapa se recurre a sujetos involucrados en el sector manufacturero de distintos giros: aeroespacial, automotriz, construcción, electrónica y comunicaciones, equipo de cómputo y accesorios de oficina, equipo de transporte, equipo médico, farmacéutica, integradoras, maquinaria eléctrica, metales ferrosos, metales no ferrosos, plástico y hule, productos metálicos fabricados, proveedores y químicos; de distintos tamaños: pequeñas, medianas y grandes empresas; así como áreas específicas de trabajo de estos sujetos: ambiental, finanzas, producción, manufactura y tecnología.

3.2.8. ANÁLISIS DE DATOS PARA DETERMINAR LA UTILIDAD DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS

Para análisis de los datos obtenidos de la aplicación de la caja de herramientas y encuesta de satisfacción, recurrimos a herramientas estadísticas como Minitab y Excel, mediante las cuales realizamos análisis factorial para determinar la utilidad de la caja de herramientas, así como gráficos para realizar un análisis de la situación de la industria manufacturera de Ciudad Juárez en cuanto a sus prácticas sustentables y la transición a la industria 4.0.

4. RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE INDICADORES DE LA SUSTENTABILIDAD

En la Tabla 7, se pueden observar los indicadores de la dimensión ambiental seleccionados, que van del 1 “uso de electricidad” al 18 “uso de transporte”.

Tabla 7. Indicadores ambientales de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria. Fuente: esta investigación

1. Uso de electricidad
2. Uso de gas
3. Uso de agua potable
4. Cantidades y tipo de residuo generado
5. Desperdicio recuperable
6. Emisiones de gases peligrosos o de efecto invernadero
7. Eficiencia de electricidad
8. Eficiencia de gas
9. Eficiencia de agua potable
10. Generación de residuos
11. Generación de desechos tóxicos
12. Sustancias tóxicas
13. Ciclo de vida del producto
14. Prolongación de la vida útil de los materiales
15. Reducción del uso de materiales
16. Reducción el consumo de energía
17. Recuperación de productos obsoletos
18. Uso de transporte

Para la dimensión económica, en la Tabla 8, se observan los indicadores seleccionados, que van del 19 “inversión tecnológica y/o sustentable” al 22 “recuperación de *scrap*”.

Tabla 8. **Indicadores económicos de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria.** *Fuente: esta investigación*

19. Inversión tecnológica y/o sustentable
20. Retorno de inversión
21. Ahorro prácticas sustentables
22. Recuperación de <i>scrap</i>

Continuando con la dimensión social, se seleccionaron 4 indicadores, que van desde el 23 “entrenamiento al personal” al 26 “recolección del producto” (Tabla 9).

Tabla 9. **Indicadores sociales de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria.** *Fuente: esta investigación*

23. Entrenamiento al personal
24. Comunicación a los trabajadores
25. Certificaciones sustentables
26. Recolección del producto

Por último, se observa en la Tabla 10, los indicadores de la dimensión tecnológica, que van desde el 27 “sistemas de eficiencia energética en el diseño de productos” al 32 “productos que soportan el mantenimiento”

Tabla 10. **Indicadores tecnológicos de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria.** *Fuente: esta investigación*

27. Sistemas de eficiencia energética en el diseño de productos
28. Sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción

29. Sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte
30. Productos modulares
31. Productos que facilitan la reparación, reelaboración y renovación
32. Productos que soportan el mantenimiento

4.2. DISEÑO PILOTO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS

Los datos que se obtuvieron para el diseño piloto de la caja de herramientas se rigen con respecto de parámetros de la sustentabilidad propios de cada una de las dimensiones propuestas: ambiental, económica, social y tecnológica; dichos parámetros medibles de cada una de estas dimensiones están evaluados por cuatro niveles que indican cómo se encuentran en términos de industria 4.0. El nivel 1 representa la falta de actividad del parámetro que se esté midiendo; el nivel 2 representa que la actividad del parámetro que se está midiendo de manera manual; el nivel 3 representa que la actividad del parámetro que se está midiendo se lleva a cabo mediante sensores y/o herramientas/aparatos electrónicos que obtienen los datos, para posteriormente realizar el análisis de los mismos de manera manual, y el nivel 4 representa que la actividad del parámetro que se esté midiendo se lleva a cabo mediante sensores y/o herramientas/aparatos electrónicos que arrojan información, misma que se analiza de manera automática integrando alguna herramienta de la industria 4.0.

La dimensión ambiental consta de 18 parámetros medibles: el parámetro medible 1 “Monitoreo del uso de la electricidad”, el parámetro medible 2 “Monitoreo del uso del gas”, el parámetro medible 3 “Monitoreo del uso del agua”, el parámetro

medible 4 “Monitoreo de residuos generados”, el parámetro medible 5 “Monitoreo de residuos recuperables”, el parámetro medible 6 “Reporte y control de emisiones de gases peligrosos”, el parámetro medible 7 “Desarrolla prácticas de eficiencia eléctrica”, el parámetro medible 8 “Desarrolla prácticas de eficiencia de gas”, el parámetro medible 9 “Desarrolla prácticas de eficiencia de agua”, el parámetro medible 10 “Identifica la fuente de generación de residuos”, el parámetro medible 11 “Sabe si el proceso/servicio genera desechos tóxicos”, el parámetro medible 12 “Elimina el uso de las sustancias tóxicas en los productos”, el parámetro medible 13 “Evalúa el ciclo de vida del producto”, el parámetro medible 14 “Diseña productos que prolongan la vida útil de los materiales”, el parámetro medible 15 “Diseña productos que reducen el uso de materiales”, el parámetro medible 16 “Diseña productos que reducen el uso de energía”, el parámetro medible 17 “Diseña productos que incorporan la recuperación de materiales” y el parámetro medible 18 “Basa el uso de transporte y en decisiones ambientales”.

La dimensión económica consta de 4 parámetros medibles: el parámetro medible 19 “Realiza un análisis de prácticas sustentables”, el parámetro medible 20 “Realiza control de retorno de inversión de cada tecnología y prácticas sustentables implementadas”, el parámetro medible 21 “Realiza análisis del ahorro producido por prácticas sustentables” y el parámetro medible 22 “Realiza un control de las entradas económicas por recuperación o transformación de residuos”.

La dimensión social consta de 4 parámetros medibles: el parámetro medible 23 “Realiza entrenamiento al personal sobre temas de sustentabilidad (reciclaje, desechos tóxicos, cuidado del medio ambiente, etc.)”, el parámetro medible 24

“Realiza comunicación del comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores”, el parámetro medible 25 “Conoce qué porcentaje de sus clientes están interesados en que cuente con certificaciones sustentables” y el parámetro medible 26 “Coordina con el cliente la recolección del producto cuando éste cumple con su ciclo de vida”.

La dimensión tecnológica consta de 6 parámetros medibles: el parámetro medible 27 “Utiliza sistemas de eficiencia energética en el diseño de productos”, el parámetro medible 28 “Utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción”, el parámetro medible 29 “Utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte”, el parámetro medible 30 “Diseña productos modulares”, el parámetro medible 31 “Diseña productos que facilitan la reelaboración y renovación” y el parámetro medible 32 “Diseña productos que soportan el mantenimiento”.

4.3. VALIDACIÓN DE EXPERTOS

En este apartado se obtuvieron los datos resultantes de la aplicación de la prueba piloto a los evaluadores expertos seleccionados, en la cual ellos seleccionan la respuesta que consideran adecuada respecto de los criterios de claridad y relevancia mencionados en el capítulo anterior, asimismo apoyan sus respuestas con comentarios que ayudan a decidir si el ítem se aclara, se elimina o se deja en el instrumento. Un ejemplo se muestra a continuación en la en la Figura 10.

Í6. Reporte y control de emisiones de gases peligrosos: CO, CO2, NO, NO2, SO2, H2S, etc.	No realiza reporte ni control	Reporte y control mediante reporte manual	Reporte y control mediante sensores con análisis manual	Reporte y control mediante sensores con análisis automático en la nube
	Claridad: (1) El ítem no es claro (2) El ítem requiere bastantes modificaciones Relevancia: (1) El ítem puede ser eliminado sin afectar la dimensión (2) El ítem tiene alguna relevancia, pero otro lo puede medir	(3) El ítem requiere pocas modificaciones (4) El ítem es claro y adecuado (3) El ítem es relativamente importante (4) El ítem es muy relevante y debe incluirse		
Í7. Desarrolla prácticas de eficiencia eléctrica	No desarrolla prácticas de eficiencia eléctrica	Realiza prácticas eficientes mediante actividades manuales	Realiza prácticas eficientes semiautomáticas	Realiza prácticas eficientes de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube
	Claridad: (1) El ítem no es claro (2) El ítem requiere bastantes modificaciones Relevancia: (1) El ítem puede ser eliminado sin afectar la dimensión (2) El ítem tiene alguna relevancia, pero otro lo puede medir	(3) El ítem requiere pocas modificaciones (4) El ítem es claro y adecuado (3) El ítem es relativamente importante (4) El ítem es muy relevante y debe incluirse		
Í8. Desarrolla prácticas de eficiencia de gas	No desarrolla prácticas de eficiencia de gas	Realiza prácticas eficientes mediante actividades manuales	Realiza prácticas eficientes semiautomáticas	Realiza prácticas eficientes de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube
	Claridad: (1) El ítem no es claro (2) El ítem requiere bastantes modificaciones Relevancia: (1) El ítem puede ser eliminado sin afectar la dimensión (2) El ítem tiene alguna relevancia, pero otro lo puede medir	(3) El ítem requiere pocas modificaciones (4) El ítem es claro y adecuado (3) El ítem es relativamente importante (4) El ítem es muy relevante y debe incluirse		
Í9. Desarrolla prácticas de eficiencia de agua	No desarrolla prácticas de eficiencia de agua	Realiza prácticas eficientes mediante actividades manuales	Realiza prácticas eficientes semiautomáticas	Realiza prácticas eficientes de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube
	Claridad: (1) El ítem no es claro (2) El ítem requiere bastantes modificaciones Relevancia: (1) El ítem puede ser eliminado sin afectar la dimensión (2) El ítem tiene alguna relevancia, pero otro lo puede medir	(3) El ítem requiere pocas modificaciones (4) El ítem es claro y adecuado (3) El ítem es relativamente importante (4) El ítem es muy relevante y debe incluirse		

Lenovo abr. 16

Se cuenta con reporte

Agregar una respuesta

Figura 10. **Ejemplo de validación de uno de los expertos evaluadores del instrumento de medición.** Fuente: esta investigación

Tal como lo recomiendan Lévy & Varela (2003), se realizó un análisis por medio de una media de las evaluaciones por ítem, donde los ítems con una media menor a 2.5 se eliminan; los que se encuentran entre 2.5 y 3.5 se analizan con base

en las observaciones y comentarios de los expertos para decidir si permanecen en el instrumento haciendo algunas modificaciones en la redacción, y, por último, los ítems con una media mayor a 3.5 se retienen en la caja de herramientas (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis cuantitativo de evaluaciones de expertos por criterio utilizando la media. Fuente: esta investigación

ÍTEMS	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	MEDIA	CRITERIO
DIMENSIÓN AMBIENTAL						
1	4	4	4	4	4	RETENER
2	4	4	4	4	4	RETENER
3	4	4	4	4	4	RETENER
4	4	2	4	4	3.5	ANALIZAR
5	4	2	4	4	3.5	ANALIZAR
6	3	4	4	4	3.75	RETENER
7	3	4	4	4	3.75	RETENER
8	3	4	4	4	3.75	RETENER
9	3	4	4	4	3.75	RETENER
10	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR
11	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR
12	3	4	3	4	3.5	ANALIZAR
13	1	2	2	2	1.75	ELIMINAR
14	1	4	1	1	1.75	ELIMINAR
15	2	3	2	1	2	ELIMINAR
16	2	2	2	3	2.25	ELIMINAR
17	2	2	3	2	2.25	ELIMINAR
18	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR
DIMENSIÓN ECONÓMICA						
19	4	4	4	4	4	RETENER
20	4	2	4	4	3.5	ANALIZAR
21	4	4	4	4	4	RETENER
22	4	4	3	4	3.75	RETENER
DIMENSIÓN SOCIAL						
23	4	4	3	4	3.75	RETENER
24	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR
25	4	4	3	3	3.5	ANALIZAR
26	3	3	4	4	3.5	ANALIZAR
DIMENSIÓN TECNOLÓGICA						
27	4	4	4	4	4	RETENER

28	4	4	4	2	3.5	ANALIZAR
29	4	4	4	3	3.75	RETENER
30	4	4	4	3	3.75	RETENER
31	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR
32	3	4	3	3	3.25	ANALIZAR

Para una mejor interpretación, ver Figura 11, donde se muestra que los indicadores del 13 al 17, que pertenecen a la dimensión ambiental, son eliminados por encontrarse con una media por debajo de 2.5.

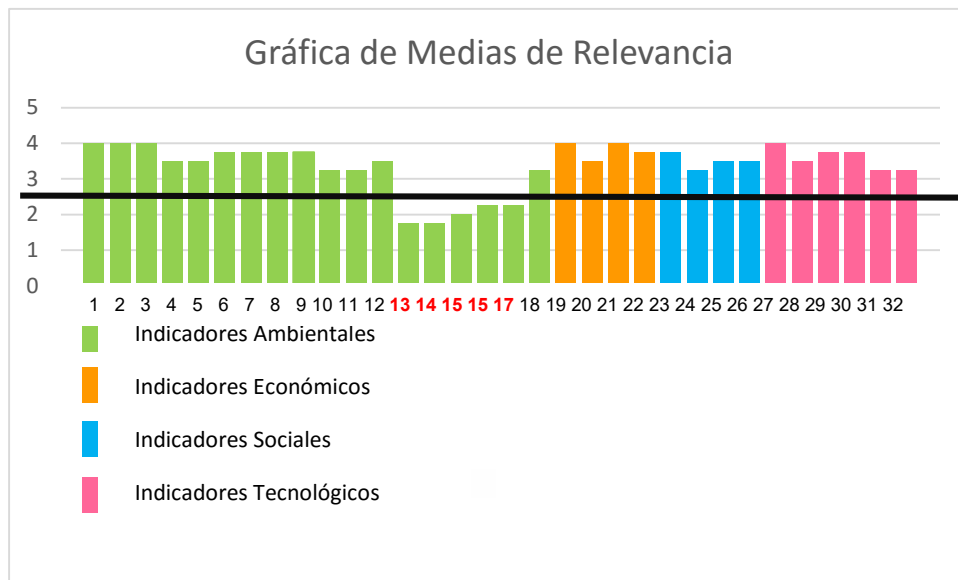


Figura 11. **Medias de Relevancia.** Fuente: esta investigación

Es importante hacer mención que, a partir de las observaciones y comentarios de los expertos, se agregó un ítem en los indicadores de la dimensión ambiental, así como en los de la dimensión económica.

4.4. IMÁGENES PARA CONSTRUIR LA CAJA DE HERRAMIENTAS

A continuación, se muestran las imágenes diseñadas para la caja de herramientas por cada dimensión de la sustentabilidad.

En la Figura 12 podemos observar imágenes de los primeros cinco indicadores de la sustentabilidad de la dimensión ambiental, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

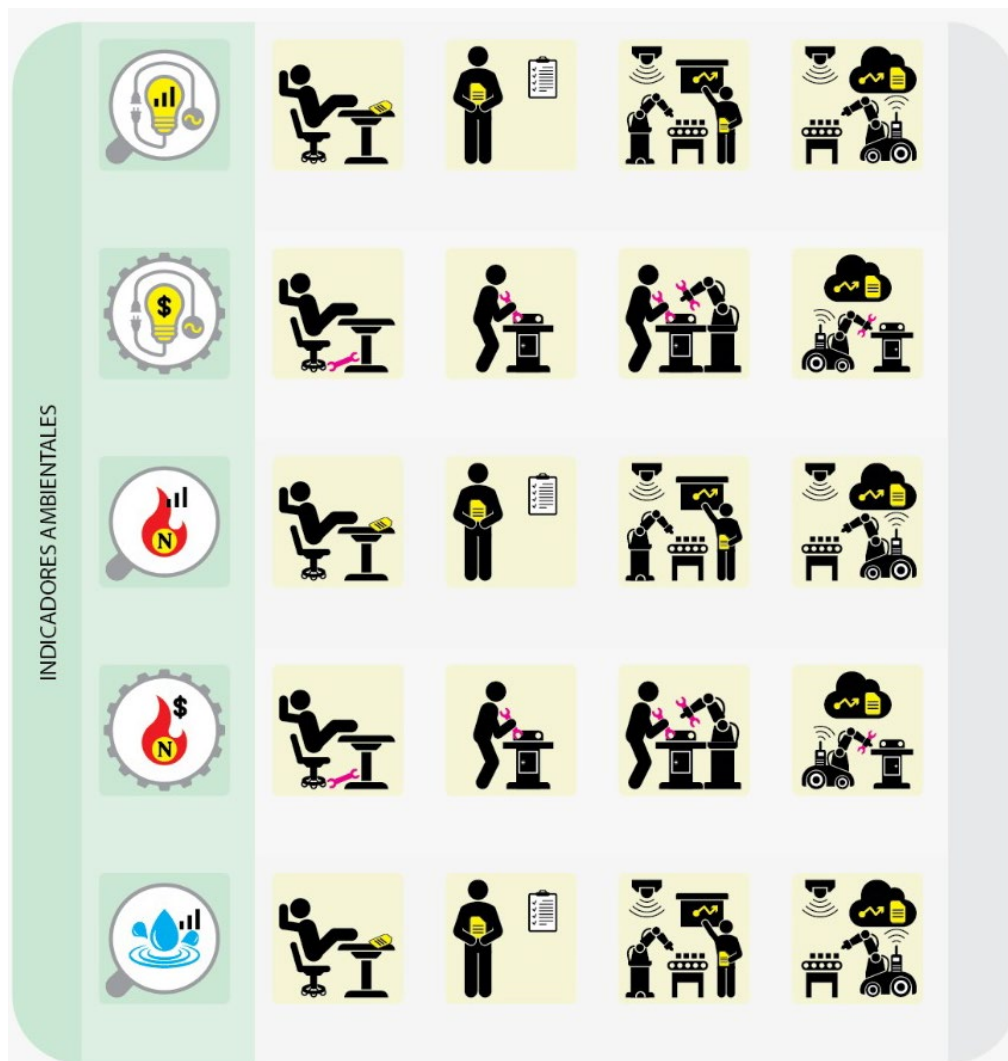


Figura 12. Imágenes de los primeros cinco indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

En la Figura 13 podemos observar imágenes de los siguientes cinco indicadores de la sustentabilidad de la dimensión ambiental, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

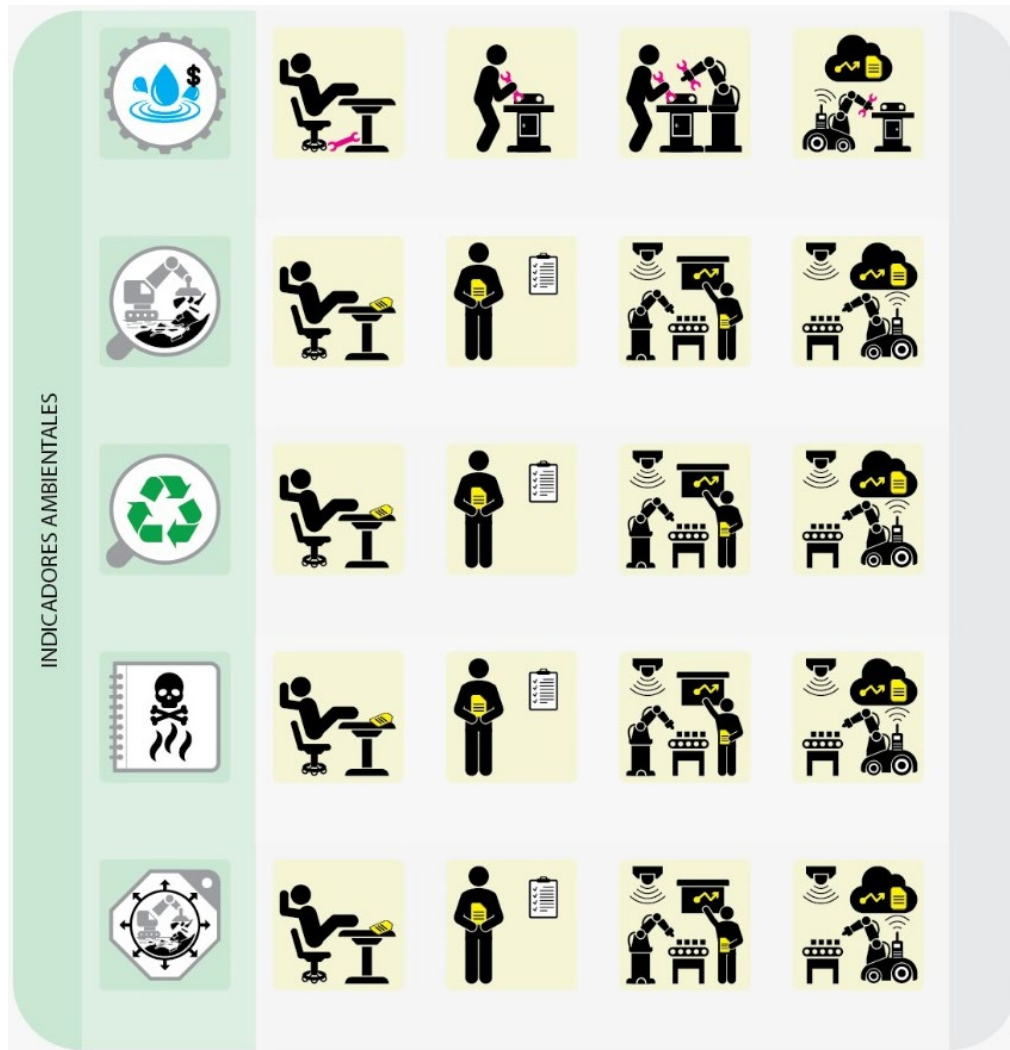


Figura 13. Imágenes de los siguientes cinco indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

En la Figura 14 podemos observar imágenes de los últimos cuatro indicadores de la sustentabilidad de la dimensión ambiental, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

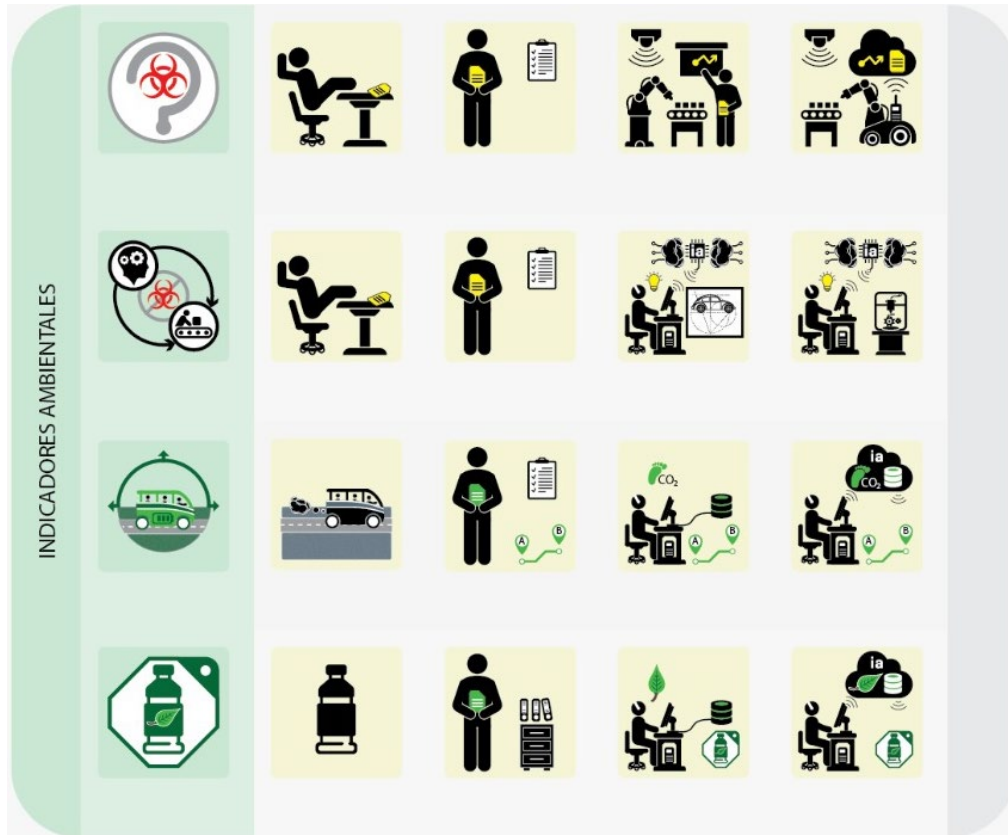


Figura 14. Imágenes de los últimos cuatro indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

En la Figura 15 podemos observar imágenes de los cinco indicadores de la sustentabilidad de la dimensión económica, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

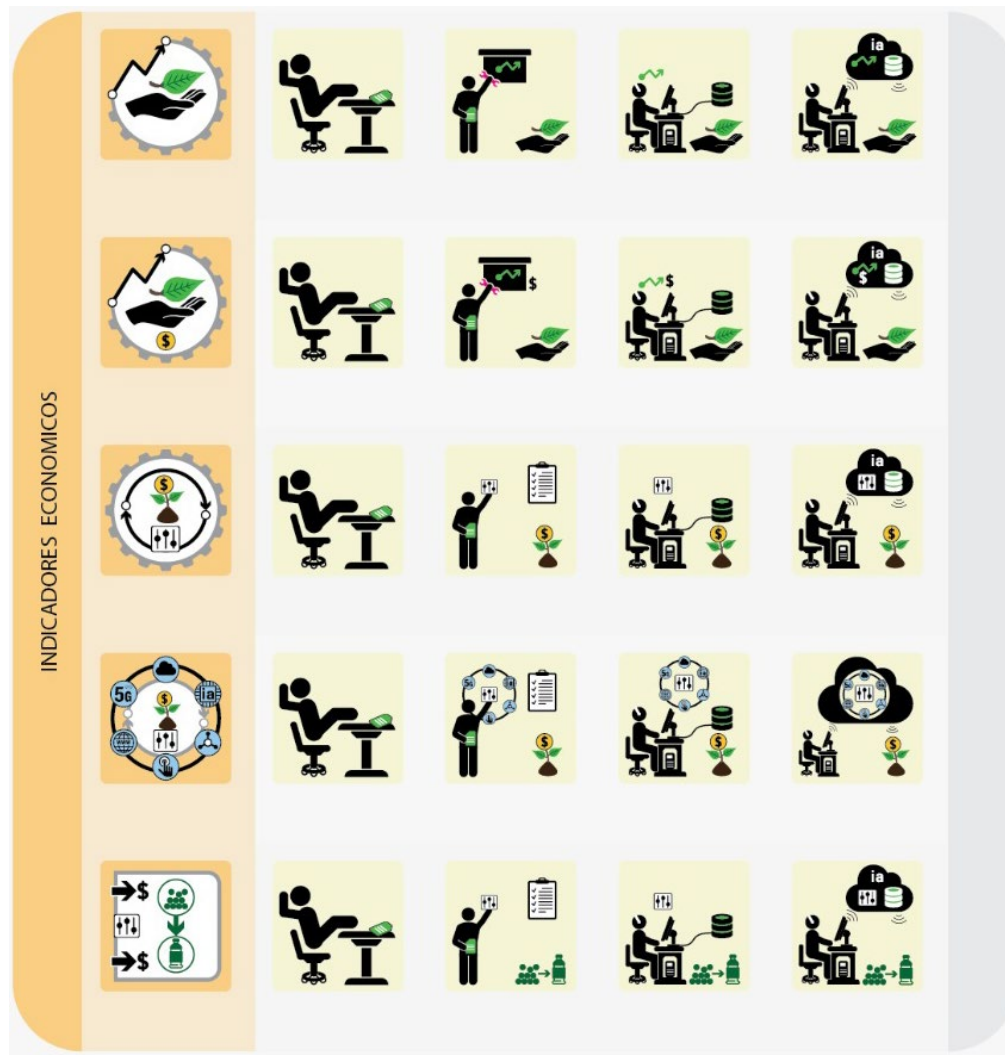


Figura 15. Imágenes de los cinco indicadores de la dimensión económica y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

En la Figura 16 podemos observar imágenes de los cuatro indicadores de la sustentabilidad de la dimensión social, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

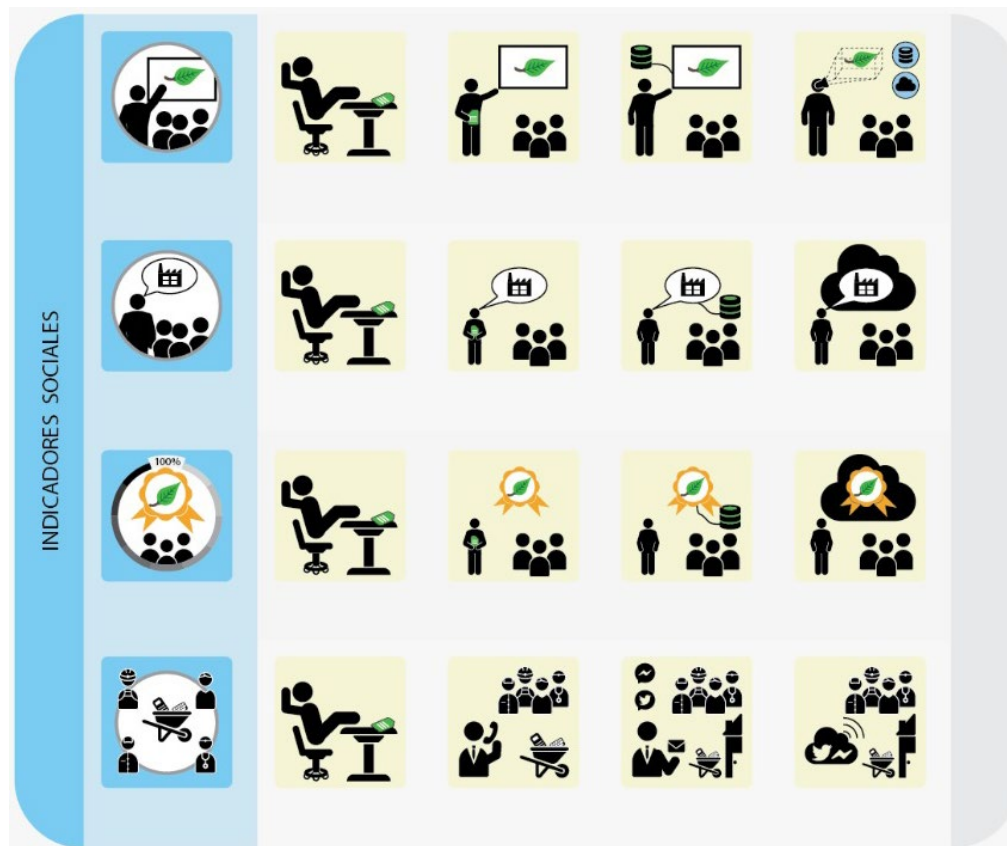


Figura 16. Imágenes de los cuatro indicadores de la dimensión social y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

En la Figura 17 podemos observar imágenes de los seis indicadores de la sustentabilidad en dimensión tecnológica, así como las imágenes correspondientes a cada nivel de la industria 4.0 para estos indicadores.

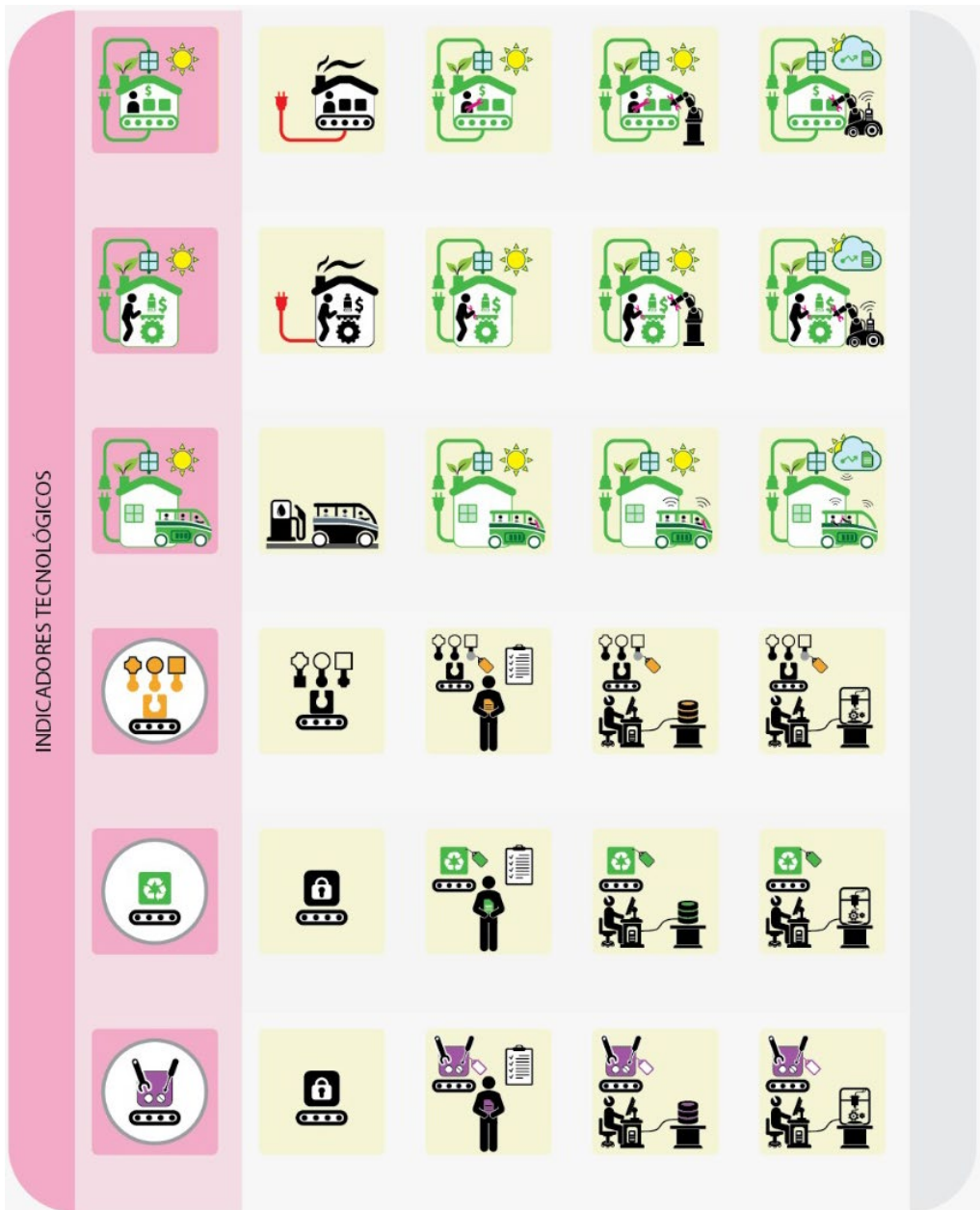


Figura 17. Imágenes de los seis indicadores de la dimensión tecnológica y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación

4.5. ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

De acuerdo con la clasificación mencionada en este apartado del capítulo anterior, se obtuvo una encuesta de satisfacción que constó de ocho preguntas (Figura 18) que los sujetos involucrados en el sector manufacturero contestaron para evaluar la utilidad de la caja de herramientas.

Califique su grado de acuerdo en cada uno de los siguientes aspectos de la evaluación de la utilidad de la “caja de herramientas para analizar la sustentabilidad en la industria 4.0”, bajo la escala de 1 a 5, donde 1 es Totalmente en desacuerdo, 2 es En desacuerdo, 3 es Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 es De acuerdo y 5 es Totalmente de acuerdo.

1. Considera que la caja de herramientas es una guía que identifica los aspectos a desarrollar para lograr procesos amigables con el medio ambiente

1 2 3 4 5

2. Considera que la caja de herramientas es un instrumento de autoevaluación para parámetros de sustentabilidad establecidos por su empresa

1 2 3 4 5

3. Considera que la caja de herramientas que se le presenta es única en su tipo para analizar la sustentabilidad en niveles de adopción de la industria 4.0

1 2 3 4 5

4. Considera que la caja de herramientas tiene un diseño amigable

1 2 3 4 5

5. Considera que la caja de herramientas es de fácil comprensión

1 2 3 4 5

6. Considera que los niveles de adopción de la industria 4.0 de la caja de herramientas están explicados de manera clara

1 2 3 4 5

7. Considera que la caja de herramientas sirve de instrumento de evaluación para empresas de distintos giros

1 2 3 4 5

8. Considera que la caja de herramientas sirve de instrumento de evaluación para empresas de distintos tamaños

1 2 3 4 5

Activar Windows
Ve a Configuración para

Figura 18. Preguntas de la encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación

4.6. REDISEÑO DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS

Para el rediseño de la caja de herramientas, se desarrolló un archivo conformado por tres apartados: el primero nos muestra información de la empresa (Figura 19); el segundo contiene la caja de herramientas con las imágenes diseñadas para la misma (Figuras 20-23), y el tercero presenta la encuesta de satisfacción que mide la utilidad de la caja de herramientas (Figura 24).

Información de la Empresa

Nombre de la Empresa:

Puesto dentro de la Empresa:

<p>1. Tipo de industria</p> <p><input type="radio"/> a) Alta Tecnología</p> <p><input type="radio"/> b) Tecnología Media – Alta</p> <p><input type="radio"/> c) Tecnología Media – Baja</p> <p><input type="radio"/> d) Tecnología Baja</p> <p>1. Tamaño de la industria</p> <p><input type="radio"/> a) Micro industria (1 a 10 empleados)</p> <p><input type="radio"/> b) Pequeña industria (11 a 50 empleados)</p> <p><input type="radio"/> c) Mediana industria (51 a 250 empleados)</p> <p><input type="radio"/> d) Grande industria (más de 251 empleados)</p>	<p>Alta tecnología</p> <p><input type="radio"/> Integradoras</p> <p><input type="radio"/> Proveedores</p> <p><input type="radio"/> Aeroespacial</p> <p><input type="radio"/> Equipo de cómputo, maquinaria de oficina</p> <p><input type="radio"/> Electrónica-comunicaciones Farmacéuticas</p> <p>Media-alta tecnología</p> <p><input type="radio"/> Instrumentos científicos</p> <p><input type="radio"/> Vehículos de motor</p> <p><input type="radio"/> Maquinaria eléctrica</p> <p><input type="radio"/> Químicos</p> <p><input type="radio"/> Automotriz</p> <p><input type="radio"/> Otro equipo de transporte</p> <p><input type="radio"/> Maquinaria no eléctrica</p>	<p>Media-baja tecnología</p> <p><input type="radio"/> Productos de plástico y hule</p> <p><input type="radio"/> Fabricación de barcos</p> <p><input type="radio"/> Otras manufacturas</p> <p><input type="radio"/> Metales no ferrosos</p> <p><input type="radio"/> Productos minerales no metálicos</p> <p><input type="radio"/> Productos metálicos fabricados</p> <p><input type="radio"/> Refinación de petróleo</p> <p><input type="radio"/> Metales ferrosos</p>
	<p>Baja tecnología</p> <p><input type="radio"/> Impresión de papel</p> <p><input type="radio"/> Textiles y prendas de vestir</p> <p><input type="radio"/> Alimentos, bebidas y tabaco</p> <p><input type="radio"/> Madera y muebles</p>	

Figura 19. Información de la empresa; apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación









































INDICADORES AMBIENTALES	 <p>1. Realiza monitoreo del consumo de energía eléctrica</p>	 <p>No realiza monitoreo del consumo de energía eléctrica</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de energía eléctrica mediante captura/reporte manual</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de energía eléctrica mediante sensores con análisis manual para planificación y control de procesos</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de energía eléctrica mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>12. Desarrolla prácticas de eficiencia de consumo eléctrico</p>	 <p>No desarrolla prácticas de eficiencia de consumo eléctrico</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo eléctrico mediante actividades manuales</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo eléctrico semiautomáticas</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo eléctrico de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube</p>
	 <p>13. Realiza monitoreo del consumo de gas natural</p>	 <p>No realiza monitoreo consumo de gas natural</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de gas natural mediante captura/reporte manual</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de gas natural mediante sensores con análisis manual para planificación y control de procesos</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de gas natural mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>14. Desarrolla prácticas de eficiencia de consumo de gas</p>	 <p>No desarrolla prácticas de eficiencia de consumo de gas</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de gas mediante actividades manuales</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de gas semiautomáticas</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de gas de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube</p>
INDICADORES AMBIENTALES	 <p>15. Realiza monitoreo del consumo de agua</p>	 <p>No realiza monitoreo del consumo de agua</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de agua mediante captura/ reporte manual</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de agua mediante sensores con análisis manual para planificación y control de procesos</p>	 <p>Realiza monitoreo del consumo de agua mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>16. Desarrolla prácticas de eficiencia de consumo de agua</p>	 <p>No desarrolla prácticas de eficiencia de consumo de agua</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de agua mediante actividades manuales</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de agua semiautomáticas</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia de consumo de agua de manera automática gracias al análisis de planificación y control generado en la nube</p>
	 <p>17. Realiza monitoreo de residuos generados en general</p>	 <p>No realiza monitoreo de residuos generados</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos generados mediante captura/ reporte manual</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos generados mediante sensores con análisis manual para planificación y control de procesos</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos generados mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>18. Realiza monitoreo de residuos recuperables en general</p>	 <p>No realiza monitoreo de residuos recuperables</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos recuperables mediante captura/reporte manual</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos recuperables mediante sensores con análisis manual para planificación y control de procesos</p>	 <p>Realiza monitoreo de residuos recuperables mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>

Figura 20. Hoja 1 y 2 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación









































INDICADORES AMBIENTALES	 <p>Í9. Lleva a cabo reporte y control de emisiones de gases peligrosos: CO, CO2, NO, NO2, SO2, H2S, etc.</p>	 <p>No lleva a cabo reporte ni control de emisiones de gases peligrosos</p>	 <p>Lleva a cabo reporte y control de emisiones de gases peligrosos mediante captura/reporte manual</p>	 <p>Lleva a cabo reporte y control de emisiones de gases peligrosos mediante sensores con análisis manual</p>	 <p>Lleva a cabo reporte y control de emisiones de gases peligrosos mediante sensores con análisis automático en la nube</p>
	 <p>Í10. Identifica la fuente de generación de residuos</p>	 <p>No identifica la fuente de generación de residuos</p>	 <p>Realiza revisiones de la fuente de generación de residuos de manera manual</p>	 <p>Identificación de la fuente de generación de residuos por sensores a partir de los cuales realiza un reporte manual</p>	 <p>Identificación de la fuente de generación de residuos mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>Í11. Tiene conocimiento sobre si el proceso/servicio genera desechos tóxicos (en sus procesos de manufactura, como en sus propios consumos)</p>	 <p>No sabe si el proceso/servicio genera desechos tóxicos</p>	 <p>Realiza revisiones de generación desechos tóxicos de manera manual</p>	 <p>Identificación de generación desechos tóxicos mediante sensores a partir de los cuales realiza un reporte manual</p>	 <p>Identificación de generación desechos tóxicos mediante sensores con análisis automático en la nube para planificación y control</p>
	 <p>Í12. Elimina el uso de sustancias tóxicas en los productos (desde el diseño hasta la producción)</p>	 <p>No se preocupa por el tipo de sustancias que utiliza</p>	 <p>Realiza identificación manual de sustancias tóxicas</p>	 <p>Diseño de productos con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre sustancias tóxicas</p>	 <p>Diseña productos -con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre sustancias tóxicas- mediante la impresión 3D</p>
INDICADORES AMBIENTALES	 <p>Í13. Basa el uso de logística de transporte y distribución de producto manufacturado en decisiones ambientales</p>	 <p>No basa sus decisiones de transporte en el cuidado ambiental</p>	 <p>Sobre datos obtenidos de manera manual, toma decisiones que optimicen las rutas y maneras de transporte</p>	 <p>Cuenta con software que brinda datos sobre la huella de carbono, la cual se vacía en una base de datos digital para de ahí tomar decisiones que optimicen las rutas y maneras de transporte</p>	 <p>Cuenta con software conectado a la nube que brinda información automática sobre la huella de carbono, lo que facilitaría la toma de decisiones para optimizar las rutas y maneras de transporte</p>
	 <p>Í14. Cuenta con eco etiquetas en caso de que el producto lo requiera</p>	 <p>No cuenta con eco etiquetas</p>	 <p>La información generada por las eco etiquetas se vacía en una base de datos manual</p>	 <p>La información generada por las eco etiquetas se vacía en una base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un análisis de los productos a través de la información generada por las eco etiquetas</p>
INDICADORES ECONÓMICOS	 <p>Í15. Realiza un análisis de prácticas sustentables en todos sus ámbitos</p>	 <p>No realiza análisis para realización de prácticas sustentables</p>	 <p>Realiza análisis de prácticas sustentables de manera manual con datos obtenidos mediante reporte manual</p>	 <p>Realiza análisis de prácticas sustentables de manera manual con datos obtenidos mediante la base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un análisis de las prácticas sustentables</p>
	 <p>Í16. Realiza análisis del ahorro producido por prácticas sustentables</p>	 <p>No realiza análisis de los ahorros producidos por prácticas sustentables</p>	 <p>Realiza análisis de manera manual de prácticas sustentables con datos obtenidos mediante reporte manual</p>	 <p>Realiza análisis de manera manual de prácticas sustentables con datos obtenidos mediante la base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un análisis de las prácticas sustentables</p>

Figura 21. Hoja 3 y 4 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación








































INDICADORES ECONÓMICOS	 <p>Í17. Realiza control de retorno de inversión de cada una de las prácticas sustentables implementadas</p>	 <p>No realiza control de inversión de cada una de las prácticas sustentables implementadas</p>	 <p>Realiza control de inversión de cada una de las prácticas sustentables implementadas de manera manual con datos obtenidos mediante reporte manual</p>	 <p>Realiza control de inversión de cada una de las prácticas sustentables implementadas de manera manual con datos obtenidos mediante la base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un control de inversiones de cada una de las prácticas sustentables implementadas</p>
	 <p>Í18. Realiza control de retorno de inversión de cada tecnología implementada</p>	 <p>No realiza control de inversión de cada tecnología implementada</p>	 <p>Realiza control de inversión de cada tecnología implementada de manera manual con datos obtenidos mediante reporte manual</p>	 <p>Realiza control de inversión de cada tecnología implementada manual con datos obtenidos mediante la base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un control de inversiones de cada tecnología implementada</p>
	 <p>Í19. Realiza un control de las entradas económicas por recuperación o transformación de residuos</p>	 <p>No realiza control de las entradas económicas por recuperación o transformación de residuos</p>	 <p>Realiza control de entradas económicas por recuperación o transformación de residuos de manera manual con datos obtenidos mediante reporte manual</p>	 <p>Realiza control de entradas económicas por recuperación o transformación de residuos de manera manual con datos obtenidos mediante la base de datos digital</p>	 <p>La nube genera de manera automática un control de entradas económicas por recuperación o transformación de residuos</p>
INDICADORES SOCIALES	 <p>Í20. Realiza entrenamiento al personal sobre temas de sustentabilidad (reciclaje, desechos tóxicos, cuidado del medio ambiente, etc.)</p>	 <p>No realiza entrenamiento al personal sobre temas sustentables</p>	 <p>Realiza entrenamiento al personal apoyado de un manual en papel donde se tratan temas de sustentabilidad en la industria</p>	 <p>Realiza entrenamiento al personal apoyado de manuales generados en bases de datos que tratan temas de sustentabilidad en la industria</p>	 <p>Realiza entrenamiento al personal sobre temas que tratan sustentabilidad en la industria, apoyado en herramientas de la industria 4.0 (realidad virtual/aumentada, bases de datos en la nube, etc.)</p>
	 <p>Í21. Realiza una comunicación del comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores</p>	 <p>No realiza comunicación del comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores</p>	 <p>Comunica el comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores mediante informes manuales</p>	 <p>Comunica el comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores mediante informes introducidos en una base de datos</p>	 <p>Comunica el comportamiento ambiental de la empresa a los trabajadores mediante informes generados de manera automática en la nube</p>
	 <p>Í22. Conoce qué porcentaje de sus clientes están interesados en que cuente con certificaciones sustentables</p>	 <p>No tiene conocimiento sobre el interés de sus clientes de contar con certificaciones sustentables</p>	 <p>Realiza un análisis mediante reporte manual de los clientes con interés de que cuente con certificaciones sustentables</p>	 <p>Cuenta con una base de datos digital, de la que manualmente filtra clientes con interés de que cuente con certificaciones sustentables</p>	 <p>La nube genera de manera automática un reporte de los clientes con interés de que cuente con certificaciones sustentables</p>
INDICADORES SOCIALES	 <p>Í23. Coordina con el cliente la recolección del producto cuando éste cumple con su ciclo de vida</p>	 <p>No coordina con el cliente la recolección del producto cuando éste cumple con su ciclo de vida</p>	 <p>Se mantiene en contacto telefónico/personal con el cliente para coordinar con el cliente la recolección del producto cuando cumple con su ciclo de vida</p>	 <p>Se apoya con mensajes que se programan de acuerdo al ciclo de vida del producto en los que se comunica al cliente que se acerque a un centro de recolección para entregar el producto</p>	 <p>Apoyados con tecnología RFID que genera datos en la nube, al terminar el ciclo de vida del producto, comunica a su cliente de manera automática los centros de recolección más cercanos</p>
	INDICADORES TECNOLÓGICOS	 <p>Í24. Utiliza sistemas de eficiencia energética en la manufactura de productos</p>	 <p>No utiliza sistemas de eficiencia energética en la manufactura de productos</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia energética mediante actividades manuales en la manufactura de productos</p>	 <p>Realiza prácticas de eficiencia energética semiautomáticas en la manufactura de productos</p>

Figura 22. Hoja 5 y 6 del segundo apartado de la herramienta utilizada para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación


























INDICADORES TECNOLÓGICOS	 I25. Utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción	 No utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de producción	 Realiza prácticas de eficiencia energética mediante actividades manuales en sistemas de producción	 Realiza prácticas de eficiencia energética semiautomáticas en sistemas de producción	 Realiza prácticas de eficiencia energética de manera automática en sistemas de producción gracias al análisis de planificación y control generado en la nube
	 I26. Utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte	 No utiliza sistemas de eficiencia energética en sistemas de transporte	 Realiza prácticas de eficiencia energética mediante actividades manuales en sistemas de transporte	 Realiza prácticas de eficiencia energética semiautomáticas en sistemas de transporte	 Realiza prácticas de eficiencia energética de manera automática en sistemas de transporte gracias al análisis de planificación y control generado en la nube
	 I27. Manufactura productos modulares	 No manufactura productos modulares	 Manufactura productos basado en la identificación manual de posibles partes modulares	 Manufactura productos con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes modulares	 Manufactura productos -con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes modulares - mediante la impresión 3D
	 I28. Manufactura productos que facilitan la reelaboración y renovación	 No manufactura productos que facilitan la reelaboración y renovación	 Manufactura productos basado en la identificación manual de posibles partes que faciliten la reelaboración y renovación	 Manufactura productos con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes que faciliten la reelaboración y renovación	 Manufactura productos -con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes que faciliten la reelaboración y renovación- mediante la impresión 3D
	 I29. Manufactura productos que soportan el mantenimiento	 No manufactura productos que soportan el mantenimiento	 Manufactura productos basado en la identificación manual de posibles partes que soportan el mantenimiento	 Manufactura productos con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes que soportan el mantenimiento	 Manufactura productos -con almacenamiento de datos para intercambio autónomo de información sobre posibles partes que soportan el mantenimiento- mediante la impresión 3D

Figura 23. Hoja 7 y 8 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación

Califique su grado de acuerdo en cada uno de los siguientes aspectos de la evaluación de la utilidad de la “caja de herramientas para analizar la sustentabilidad en la industria 4.0”, bajo la escala de 1 a 5, donde 1 es Totalmente en desacuerdo, 2 es En desacuerdo, 3 es Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 es De acuerdo y 5 es Totalmente de acuerdo.

1. Considera que la caja de herramientas es una guía que identifica los aspectos a desarrollar para lograr procesos amigables con el medio ambiente

1 2 3 4 5

2. Considera que la caja de herramientas es un instrumento de autoevaluación para parámetros de sustentabilidad establecidos por su empresa

1 2 3 4 5

Activar Windows
Ver detalles

3. Considera que la caja de herramientas que se le presenta es única en su tipo para analizar la sustentabilidad en niveles de adopción de la industria 4.0

1 2 3 4 5

4. Considera que la caja de herramientas tiene un diseño amigable

1 2 3 4 5

5. Considera que la caja de herramientas es de fácil comprensión

1 2 3 4 5

6. Considera que los niveles de adopción de la industria 4.0 de la caja de herramientas están explicados de manera clara

1 2 3 4 5

7. Considera que la caja de herramientas sirve de instrumento de evaluación para empresas de distintos giros

1 2 3 4 5

8. Considera que la caja de herramientas sirve de instrumento de evaluación para empresas de distintos tamaños

1 2 3 4 5

Figura 24. Hoja 1 y 2 del tercer apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación

4.7. APLICACIÓN DE LA CAJA DE HERRAMIENTAS Y ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Se aplicó la caja de herramientas, así como la encuesta de satisfacción para evaluar su utilidad. Se tomó una muestra de 105 sujetos involucrados en el sector manufacturero de los distintos giros que se mencionaron anteriormente. De los sujetos involucrados, el 90.48% provienen de grandes empresas y el 9.52% restante de empresas de micro, pequeño y mediano tamaño.

La Figura 25 muestra un ejemplo de las aplicaciones de la caja de herramientas para analizar la sustentabilidad en la industria 4.0.

Información de la Empresa

Nombre de la Empresa:

Puesto dentro de la Empresa:

1. Tipo de industria

a) Alta Tecnología

b) Tecnología Media – Alta

c) Tecnología Media – Baja

d) Tecnología Baja

1. Tamaño de la industria

a) Micro industria (1 a 10 empleados)

b) Pequeña industria (11 a 50 empleados)

c) Mediana industria (51 a 250 empleados)

d) Grande industria (más de 251 empleados)

Alta tecnología

- Integradoras
- Proveedores
- Aeroespacial
- Equipo de cómputo, maquinaria de oficina
- Electrónica-comunicaciones Farmacéuticas

Media-alta tecnología

- Instrumentos científicos
- Vehículos de motor
- Maquinaria eléctrica
- Químicos
- Automotriz
- Otro equipo de transporte
- Maquinaria no eléctrica

Media-baja tecnología

- Productos de plástico y hule
- Fabricación de barcos
- Otras manufacturas
- Metales no ferrosos
- Productos minerales no metálicos
- Productos metálicos fabricados
- Refinación de petróleo
- Metales ferrosos

Baja tecnología

- Impresión de papel
- Textiles y prendas de vestir
- Alimentos, bebidas y tabaco
- Madera y muebles

INDICADORES ECONÓMICOS	1	2	3	4	5
E13. Realiza control de inventario de entrada de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E14. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E15. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E16. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E17. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E18. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E19. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E20. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E21. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E22. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E23. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E24. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E25. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E26. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E27. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E28. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E29. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E30. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E31. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E32. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E33. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E34. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E35. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E36. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E37. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E38. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E39. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E40. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E41. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E42. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E43. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E44. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E45. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E46. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E47. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E48. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E49. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E50. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E51. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E52. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E53. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E54. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E55. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E56. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E57. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E58. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E59. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E60. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E61. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E62. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E63. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E64. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E65. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E66. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E67. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E68. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E69. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E70. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E71. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E72. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E73. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E74. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E75. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E76. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E77. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E78. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E79. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E80. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E81. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E82. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E83. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables implementadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E84. Realiza control de inventario de cada una de las plantas sustentables					

4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante herramientas estadísticas, como Minitab y Excel (Tabla 12), se realizaron pruebas para analizar la sustentabilidad en la industria 4.0 de 105 sujetos involucrados en empresas manufactureras de los giros antes mencionados. Se presentan análisis por giro, por niveles y por dimensión. Asimismo, se muestran resultados de la encuesta de satisfacción por dimensión, por pregunta y por escala de Likert (Tabla 13).

Tabla 12. Resultados estadísticos obtenidos en Excel, representando cada giro de las empresas evaluadas, así como su comportamiento en cada nivel de la industria 4.0.

Fuente: esta investigación

GIROS/DIMENSIONES	NIVELES								TOTAL
	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Aeroespacial									
Ambiental 14	11	37.9310345	3	10.3448276	0	0	0	0	
Económica 5	5	17.2413793	0	0	0	0	0	0	
Social 4	4	13.7931034	0	0	0	0	0	0	
Tecnológica 6	5	17.2413793	1	3.44827586	0	0	0	0	
TOTAL	25		4		0		0		29
PORCENTAJE (%)	86.20689655		13.79310345		0		0		100%
Automotriz									
Ambiental	3	0.8045977	72	19.3103448	103	27.6245211	18	4.82758621	
Económica	10	2.53549696	27	6.84584178	31	7.86004057	1	0.2535497	
Social	9	2.53342716	15	4.22237861	25	7.03729768	6	1.68895144	
Tecnológica	4	0.99709182	55	13.7100125	23	5.73327794	3	0.74781886	
TOTAL	26		169		182		28		405
PORCENTAJE (%)	6.419753086		41.72839506		44.9382716		6.913580247		100%
Construcción									
Ambiental	5	3.44827586	40	27.5862069	25	17.2413793	0	0	
Económica	15	10.3448276	10	6.89655172	0	0	0	0	
Social	0	0	15	10.3448276	5	3.44827586	0	0	
Tecnológica	15	10.3448276	15	10.3448276	0	0	0	0	
TOTAL	35		80		30		0		145
PORCENTAJE (%)	24.13793103		55.17241379		20.68965517		0		100%
Electrónica y comunicaciones									
	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	

Ambiental	18	5.7168784	92	29.2196007	7	2.22323049	35	11.1161525	
Económica	6	1.78359096	33	9.8097503	10	2.97265161	9	2.67538644	
Social	2	0.59970015	22	6.59670165	11	3.29835082	11	3.29835082	
Tecnológica	7	2.03982516	43	12.5303545	9	2.62263235	12	3.49684313	
TOTAL	33		190		37		67		327
PORCENTAJE (%)	10.13999467		58.15640721		11.11686527		20.58673285		100%
Equipo de transporte	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	9	10.3448276	33	37.9310345	0	0	0	0	
Económica	0	0	9	10.3448276	6	6.89655172	0	0	
Social	0	0	9	10.3448276	3	3.44827586	0	0	
Tecnológica	0	0	12	16.5517241	3	4.13793103	0	0	
TOTAL	9		63		12		0		84
PORCENTAJE (%)	10.34482759		75.17241379		14.48275862		0		100%
Equipo médico	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	2	0.66587396	119	39.6195006	24	7.99048751	0	0	
Económica	1	0.33156499	50	16.5782493	1	0.33156499	0	0	
Social	0	0	38	13.1034483	2	0.68965517	0	0	
Tecnológica	0	0	60	19.7044335	3	0.98522167	0	0	
TOTAL	3		267		30		0		300
PORCENTAJE (%)	0.997438946		89.0056317		9.996929349		0		100%
Farmacéutica	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	12	8.27586207	55	37.9310345	3	2.06896552	0	0	
Económica	8	5.51724138	15	10.3448276	2	1.37931034	0	0	
Social	0	0	19	13.1034483	1	0.68965517	0	0	
Tecnológica	2	1.42687277	25	17.8359096	2	1.42687277	0	0	
TOTAL	22		114		8		0		144
PORCENTAJE (%)	15.21997622		79.21521998		5.564803805		0		100%
Maquinaria eléctrica	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	1	0.48763497	49	23.8941135	33	16.091954	16	7.80215953	
Económica	5	2.39463602	18	8.62068966	9	4.31034483	4	1.91570881	
Social	2	0.95124851	12	5.70749108	15	7.13436385	0	0	
Tecnológica	3	1.37931034	18	8.27586207	16	7.35632184	8	3.67816092	
TOTAL	11		97		73		28		209
PORCENTAJE (%)	5.212829844		46.49815636		34.89298454		13.39602926		100%
Metales ferrosos	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	34	29.3103448	22	18.9655172	0	0	0	0	
Económica	20	17.2413793	0	0	0	0	0	0	
Social	13	11.2068966	0	0	3	2.5862069	0	0	
Tecnológica	20	20.6896552	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	87		22		3		0		112

PORCENTAJE (%)	78.44827586		18.96551724		2.586206897		0		100%
Metales no ferrosos	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	0	0	56	48.2758621	0	0	0	0	
Económica	0	0	20	17.2413793	0	0	0	0	
Social	0	0	16	13.7931034	0	0	0	0	
Tecnológica	0	0	20	20.6896552	0	0	0	0	
TOTAL	0		112		0		0		112
PORCENTAJE (%)	0		100		0		0		100%
Plástico y hule	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	36	11.2852665	82	25.7053292	25	7.8369906	11	3.44827586	
Económica	7	2.36646383	32	10.8181204	7	2.36646383	5	1.6903313	
Social	11	3.44827586	22	6.89655172	7	2.19435737	4	1.2539185	
Tecnológica	20	6.5681445	33	10.8374384	4	1.3136289	6	1.97044335	
TOTAL	74		169		43		26		312
PORCENTAJE (%)	23.66815065		54.25743965		13.71144069		8.362969012		100%
Productos metálicos fabricados	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	15	10.3448276	50	7.13436385	4	2.75862069	1	0.68965517	
Económica	5	3.44827586	18	2.37812128	2	1.37931034	0	0	
Social	5	3.44827586	11	2.37812128	4	2.75862069	0	0	
Tecnológica	15	11.0837438	13	8.1899585	0	0	0	0	
TOTAL	40		92		10		1		143
PORCENTAJE (%)	28.32512315		20.08056493		6.896551724		0.689655172		100%
Proveedores	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	37	24.8084291	35	23.467433	0	0	0	0	
Económica	10	6.63129973	14	9.28381963	2	1.32625995	0	0	
Social	5	2.87356322	15	8.62068966	4	2.29885057	0	0	
Tecnológica	10	6.0851927	24	14.6044625	0	0	0	0	
TOTAL	62		88		6		0		156
PORCENTAJE (%)	40.39848477		55.97640471		3.625110522		0		100%
Químicos	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	8	6.89655172	16	13.7931034	32	27.5862069	0	0	
Económica	0	0	12	10.3448276	8	6.89655172	0	0	
Social	8	6.89655172	8	6.89655172	0	0	0	0	
Tecnológica	12	10.3448276	4	3.44827586	8	6.89655172	0	0	
TOTAL	28		40		48		0		116
PORCENTAJE (%)	24.13793103		34.48275862		41.37931034		0		100%
Equipo de cómputo	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	5	20.1149425	7	28.1609195	0	0	0	0	
Económica	0	0	3	10.3448276	2	6.89655172	0	0	
Social	0	0	1	3.44827586	3	10.3448276	0	0	

Tecnológica	1	3.44827586	5	17.2413793	0	0	0	0	
TOTAL	6		16		5		0		27
PORCENTAJE (%)	23.56321839		59.1954023		17.24137931		0		100%
Integradoras	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	20	68.9655172	0	0	47	162.068966	0	0	
Económica	10	34.4827586	10	34.4827586	6	20.6896552	0	0	
Social	6	20.6896552	5	17.2413793	9	31.0344828	0	0	
Tecnológica	0	0	1	3.44827586	25	86.2068966	0	0	
TOTAL	36		16		87		0		139
PORCENTAJE (%)	124.137931		55.17241379		300		0		100%
MICRO, PEQUEÑA y MEDIANA	N1	N1 (%)	N2	N2 (%)	N3	N3 (%)	N4	N4 (%)	
Ambiental	73	23.8117428	65	21.2022367	9	2.93569432	1	0.32618826	
Económica	20	6.89655172	22	7.5862069	8	2.75862069	0	0	
Social	13	4.48275862	17	5.86206897	10	3.44827586	0	0	
Tecnológica	23	8.0654588	26	9.11747516	10	3.50672122	0	0	
TOTAL	129		130		37		1		297
PORCENTAJE (%)	43.25651192		43.76798774		12.64931208		0.326188257		100%

Tabla 13. Resultados estadísticos obtenidos en Excel, representando cada giro con su porcentaje en la Escala de Likert de la encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación

GIROS	ENCUESTA SATISFACCIÓN					TOTAL
	EL1	EL2	EL3	EL4	EL5	
Aeroespacial	0	0	0	37.5	62.5	100%
8	0	0	0	3	5	8
Automotriz	0	0	8.59375	46.875	44.53125	100%
128	0	0	11	60	57	128
Construcción	0	0	32.5	37.5	30	100%
40	0	0	13	15	12	40
Electrónica y Comunicaciones	0	0	13.4615385	32.6923077	53.8461538	100%
104	0	0	14	34	56	104
Equipo de transporte	0	0	0	37.5	62.5	100%
24	0	0	0	9	15	24
Equipo médico	0	0	7.29166667	63.5416667	29.1666667	100%
96	0	0	7	61	28	96
Farmacéutica	0	0	0	64.58333333	35.4166667	100%
48	0	0	0	31	17	48
Maquinaria eléctrica	0	1.78571429	17.8571429	50	30.3571429	100%
56	0	1	10	28	17	56

Metales ferrosos	0	0	3.125	46.875	50	100%
32	0	0	1	15	16	32
Metales no ferrosos	0	0	28.125	56.25	15.625	100%
32	0	0	9	18	5	32
Plástico y hule	0	0	15.9090909	63.6363636	20.4545455	100%
88	0	0	14	56	18	88
Productos metálicos fabricados	0	0	25	60.7142857	14.2857143	100%
56	0	0	14	34	8	56
Proveedores	0	0	16.6666667	66.6666667	16.6666667	100%
48	0	0	8	32	8	48
Químicos	0	0	12.5	15.625	71.875	100%
32	0	0	4	5	23	32
Equipo de Cómputo y oficina	50	37.5	12.5	0	0	100%
8	4	3	1	0	0	8
Integradoras	0	0	17.5	72.5	10	100%
40	0	0	7	29	4	40
TOTAL	4	4	113	430	289	840
PORCENTAJE TOTAL	0.47619048	0.47619048	13.452381	51.1904762	34.4047619	100%
ESCALA LIKERT	0.952380952		13.452381	85.5952381		
	Desacuerdo		Neutro	De acuerdo		

➤ ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Se utilizó Minitab para realizar un análisis factorial (Figura 26) para poder determinar la utilidad de la caja de herramientas, en el cual se observa que, a pesar de que la pregunta 5 y 8 presentan más carga factorial en el segundo factor, siguen presentando una carga factorial alta en el primer factor, que es donde caen las demás preguntas y que representa al factor de utilidad. Asimismo, se obtiene un Alfa de Cronbach de 0.8188 (Figura 26), lo cual nos indica que los sujetos involucrados en contestar la encuesta de satisfacción entendieron de qué trataban las preguntas.

Variable	Factor1	Factor2	Factor3
P1	0.657	-0.424	-0.285
P2	0.706	-0.327	0.306
P3	0.683	-0.300	-0.209
P4	0.757	-0.002	0.350
P5	0.478	0.573	0.468
P6	0.820	0.169	0.010
P7	0.794	0.040	-0.233
P8	0.396	0.685	-0.502

Alfa de Cronbach = 0.8188

Figura 26. **Análisis factorial y Alfa de Cronbach.** Fuente: Minitab

Para reforzar el análisis anterior, en la gráfica de la Figura 27 se muestra que el 85.60% de las encuestas de satisfacción determinan un acuerdo en la utilidad de la caja de herramientas para analizar la sustentabilidad en la industria 4.0, así como el 13.45 permanece en opinión neutra y solo menos del 1% se encuentra en desacuerdo.

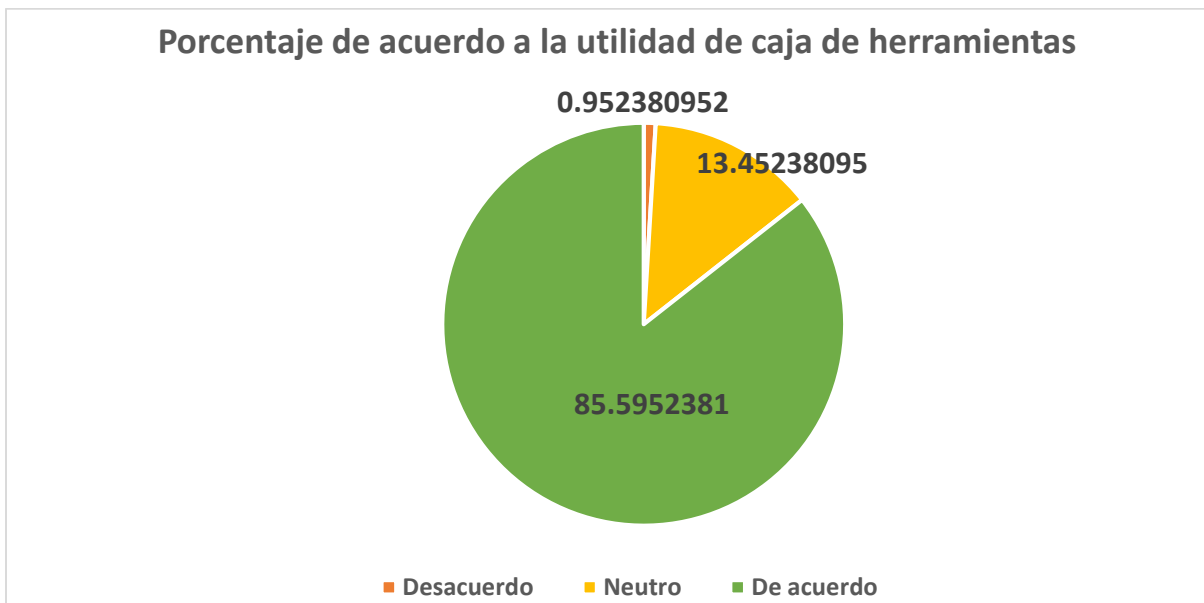


Figura 27. **Porcentaje de acuerdo con la utilidad de la caja de herramientas.** Fuente: esta investigación

➤ ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN POR ESCALA DE LIKERT Y GIRO DE LA EMPRESA

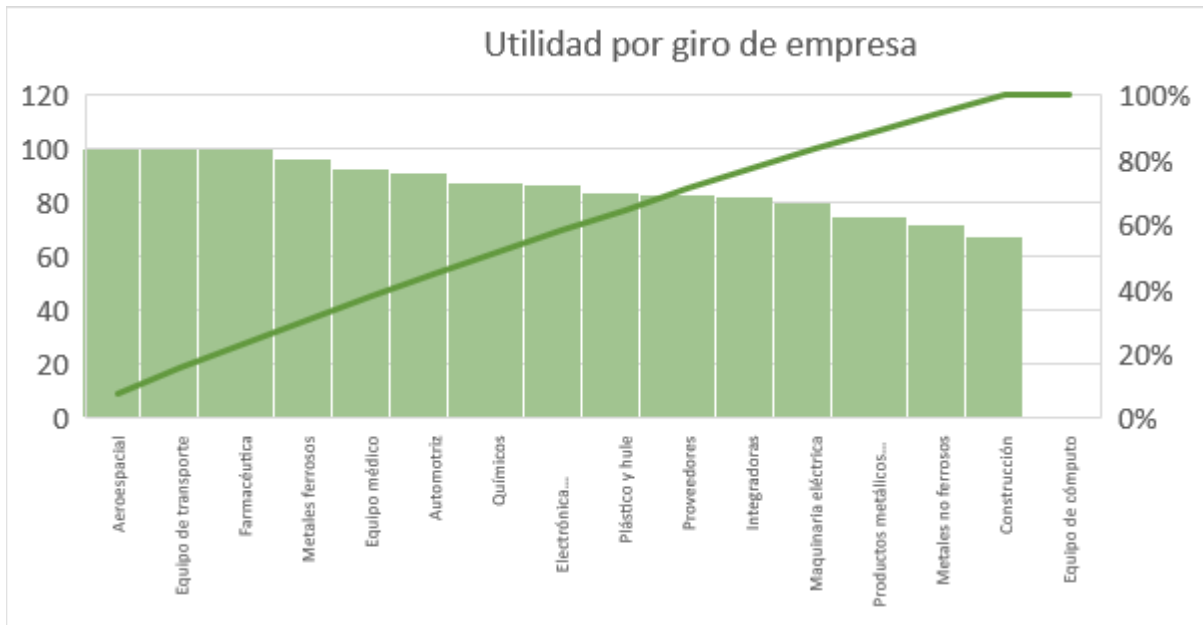


Figura 28. **Utilidad de la caja de herramienta por giro de empresas.** Fuente: esta investigación

Podemos observar en la gráfica de la Figura 28 que el porcentaje más alto en cuanto a utilidad de la caja de herramientas lo consideran las empresas de los giros aeroespacial, equipo de transporte y farmacéutica en un 100% y el porcentaje menor con cero utilidades lo considera la empresa del giro equipo de cómputo.

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA 4.0
 POR GIRO DE LA EMPRESA MANUFACTURERA Y NIVELES DE LA
 INDUSTRIA 4.0

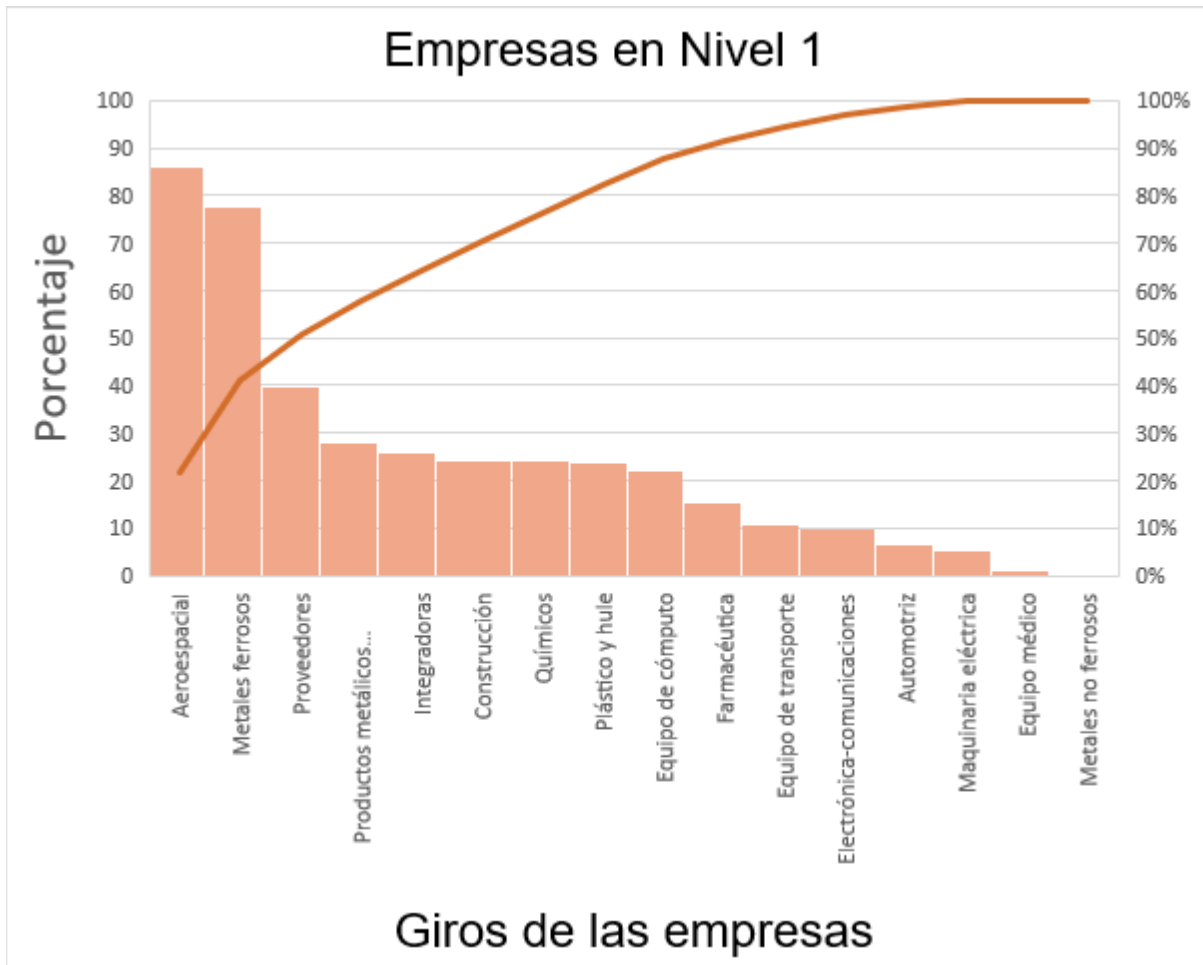


Figura 29. **Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 1.** Fuente: esta investigación

La gráfica de la Figura 29 muestra el comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 1. Esta gráfica indica el porcentaje de estos giros que no cumplen con las

actividades de la sustentabilidad propuestas en la caja de herramientas para medir la sustentabilidad en la industria 4.0. Lo cual indica que el giro aeroespacial, en un 86.2068% de las actividades sustentables propuestas no se realizan. Es importante mencionar que este giro está evaluado en pequeña industria. A su vez, el giro de metales ferrosos no cumple con el 77.6785% de las prácticas sustentables.

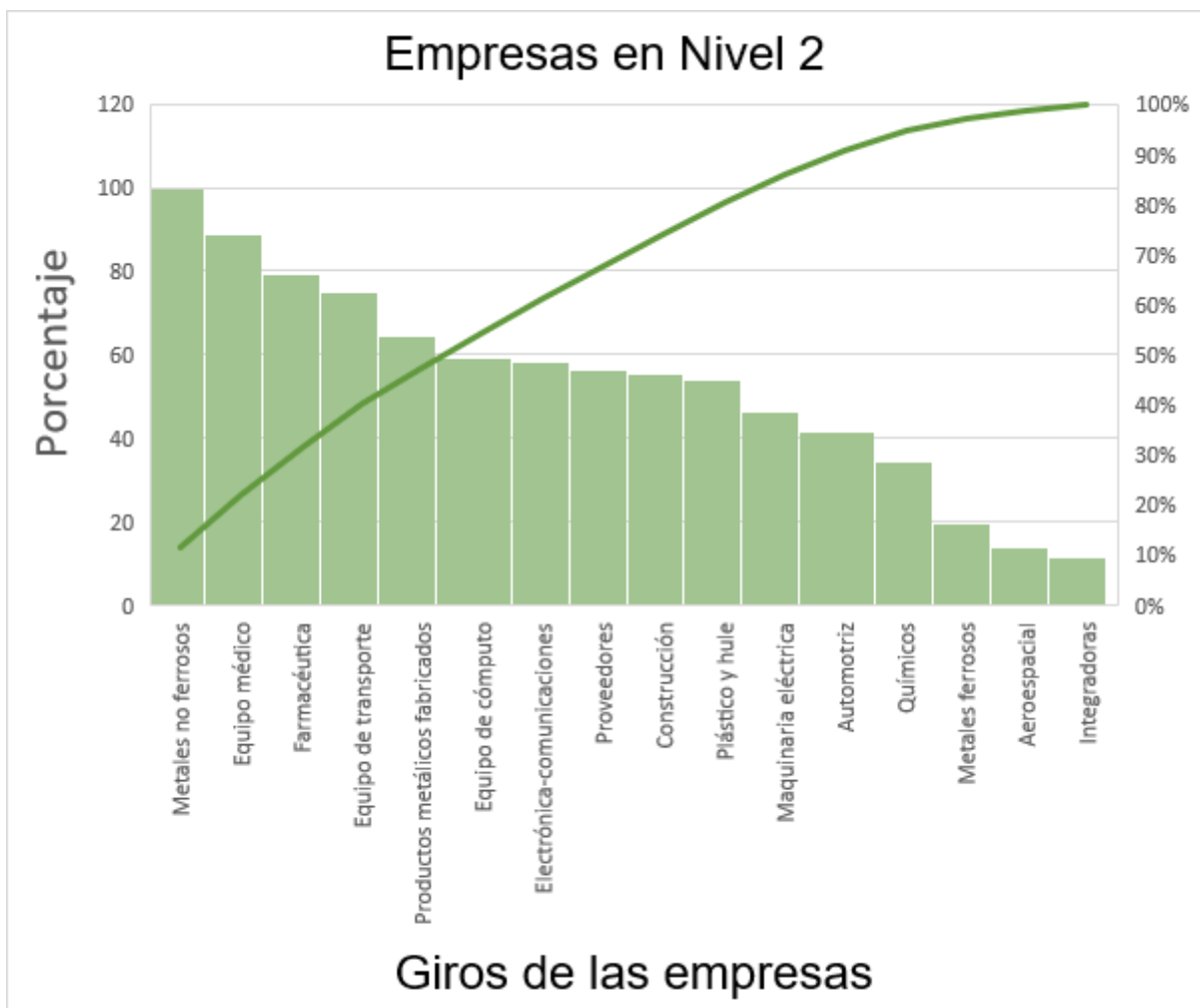


Figura 30. **Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 2.** Fuente: esta investigación

En la gráfica de la Figura 30 podemos observar cómo se comporta cada giro del sector manufacturero en la realización de los parámetros de la sustentabilidad propuestas en las cuatro dimensiones, llevándose a cabo de manera manual. En el caso del giro de metales ferrosos, vemos que cumple con el 100% de las actividades, por lo que se concluye que no ponen en práctica ninguna herramienta de la industria 4.0.

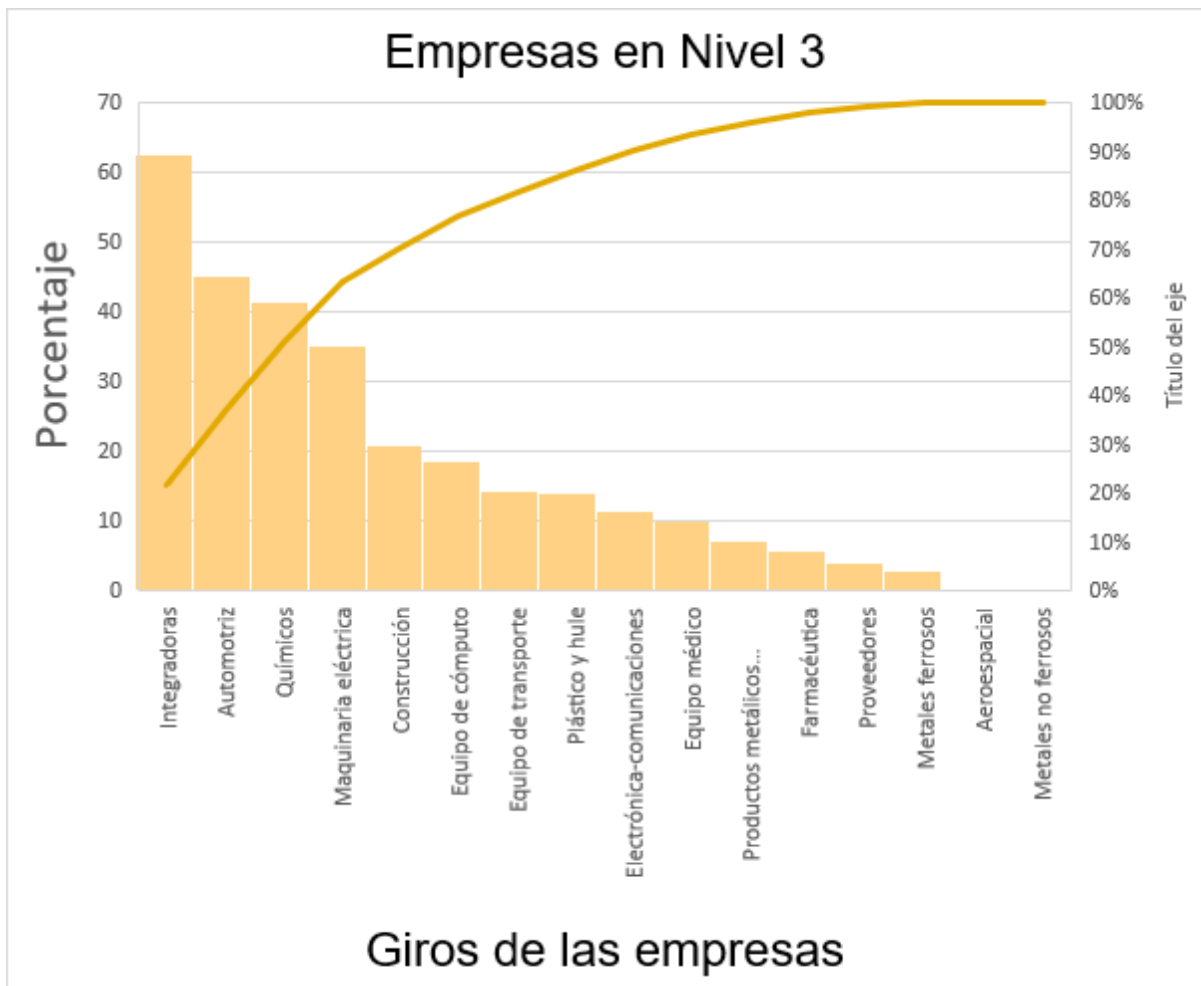


Figura 31. **Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 3.** Fuente: esta investigación

En la gráfica de la Figura 31 vemos el comportamiento de los distintos giros de las empresas cuando ponen en práctica las actividades de la sustentabilidad, empezando a transitar hacia la digitalización de sus procesos industriales. Podemos observar que el 62.58% de las actividades que realizan las empresas integradoras lo hacen mediante sensores y/o herramientas/aparatos electrónicos que obtienen los datos, para posteriormente realizar el análisis de estos de manera manual; siguiendo las empresas de giro automotriz y químicos con 44.93% y 41.37%, respectivamente.



Figura 32. **Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 4.** Fuente: esta investigación

En la gráfica de la Figura 31 se muestra el comportamiento de los distintos giros de las empresas del sector manufacturero en el nivel 4, lo que implica que llevan a cabo sus actividades mediante sensores y/o herramientas/aparatos electrónicos que arrojan información, misma que se analiza con la integración de herramientas de la industria 4.0. Podemos observar que solo 5 de los 16 giros involucrados en este estudio, implementan ya alguna tecnología de la industria 4.0 en sus prácticas sustentables. En primer lugar, se encuentra el giro de electrónica y comunicaciones con un 20.48%; en segundo, maquinaria eléctrica con un 13.39%; en tercero, plástico y hule con 8.33%; en cuarto, automotriz con 6.91%, y por último, el giro de productos metálicos fabricados con un 0.69%.

➤ ANÁLISIS ESTADÍSTICO: TAMAÑO DE EMPRESA / NIVELES DE LA INDUSTRIA 4.0

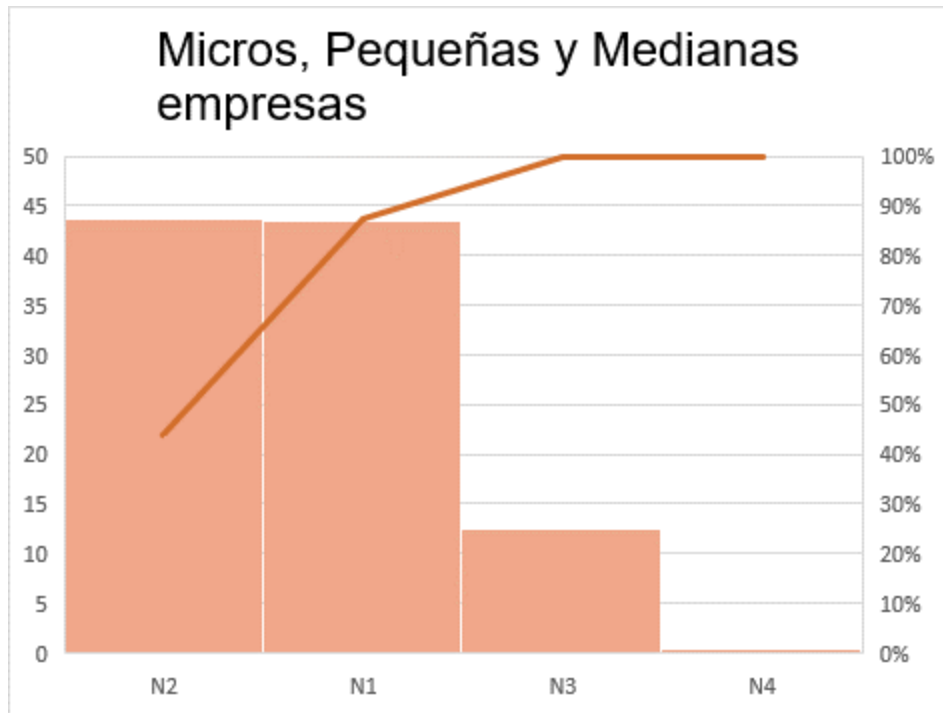


Figura 33. **Comportamiento del nivel en micros, pequeñas y medianas empresas.** Fuente: esta investigación

La gráfica de la Figura 33 nos muestra cómo se están comportando las micros, pequeñas y medianas empresas en los niveles de la industria 4.0. Podemos observar que el 43.77% de las actividades de la sustentabilidad no las realizan, que el 43.43% de las actividades que llevan a cabo lo hacen de manera manual, que en el 12.45% utilizan alguna tecnología de la información con análisis manual y que sólo el 0.33% tiene implementación de alguna herramienta de la industria 4.0.

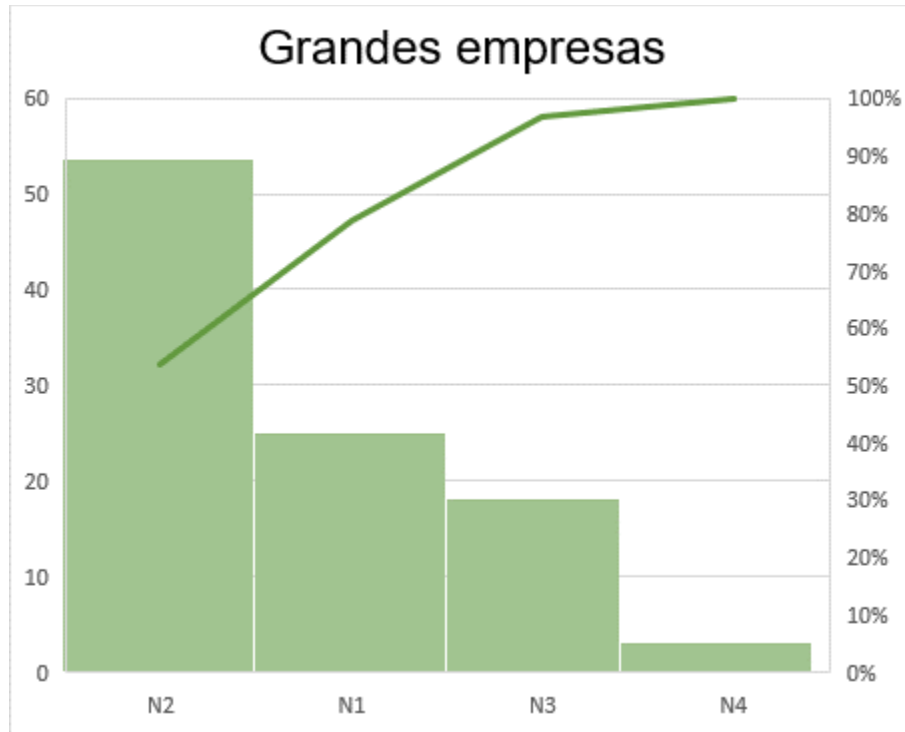


Figura 34. **Comportamiento del nivel en grandes empresas.** Fuente: esta investigación

En el caso de las grandes empresas, vemos que el 75% de las actividades sustentables las llevan a cabo: el 53.63% de manera manual, el 18.21% de manera semiautomática y el 3.11% con integración de alguna tecnología de la industria 4.0.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La sustentabilidad implica un equilibrio entre el ambiente, la economía, la sociedad y, en el caso de la industria de la manufactura y su nuevo enfoque la industria 4.0, la tecnología; por lo que, cuando se presenta un desequilibrio generado por efectos de las actividades en algunas de sus dimensiones, no se alcanza el objetivo de la sustentabilidad, afectando a las generaciones futuras. Es por eso desarrollar un instrumento de medición, como la caja de herramientas que se propone en este proyecto, útil para medir la sustentabilidad en la industria 4.0, se puede contribuir a que las empresas manufactureras puedan medirse y determinar en qué dimensión presentan fallas, para así poder tomar acciones para resolverlas.

Al realizar los análisis estadístico y factorial, se determinó con un Alfa de Cronbach del .82 la fiabilidad del instrumento de autoevaluación. Asimismo, mediante un análisis de la encuesta de satisfacción aplicada a 105 sujetos involucrados en la industria manufacturera, se obtuvo un acuerdo del 85.6%, con lo que se concluye que la caja de herramientas resulta de utilidad para empresas de los distintos giros y tamaños.

Lo anterior, muestra una relación directa y positiva con el análisis realizado por Müller y colaboradores en 2018, donde muestran que existe un beneficio entre las prácticas sustentables y la implementación de la Industria 4.0, sin que afecte ni el sector industrial, ni el tamaño de este.

Observamos que las micro, pequeñas y medianas empresas aún se encuentran en transición para llevar a cabo procesos sustentables y en mayor proporción hacia la industria 4.0. Asimismo, las grandes empresas, aunque en menor medida, al igual que las micro, pequeñas y medianas se encuentran en transición hacia llevar a cabo procesos sustentables; sin embargo, aunque en una pequeña proporción, ya se empieza a observar un camino hacia la digitalización de los procesos, y en algunos casos la adopción de prácticas sustentables. Se considera que, con la digitalización de los procesos, la adopción de prácticas sustentables será más fácil y viable, ya que se podrán medir sus impactos de manera instantánea y precisa. Es por eso que este instrumento se propone como una herramienta útil para la industria de la manufactura.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones de la sustentabilidad propuestas originalmente. Fuente: Informe Brundtland, 1987.....	19
Figura 2. Actividades de indicadores según su dimensión. Fuente: esta investigación .	26
Figura 3. Priorización de acciones de la Producción más Limpia. Fuente. Rojas, 2010.	32
Figura 4. Simbiosis Industrial de Kalundborg, Dinamarca en 2002. Fuente: esta investigación, basado en Hansen (2003).	35
Figura 5. Línea del tiempo de los principales acuerdos, reuniones, informes y conferencias sobre la sustentabilidad. Fuente: esta investigación	42
Figura 6. Modelo de Manufactura Inteligente. Fuente: Setlak & Pieczonka, 2009	44
Figura 7. Método propuesto. Fuente: esta investigación.....	49
Figura 8. Bosquejo del diseño piloto de la caja de herramientas. Fuente: esta investigación.....	53
Figura 9. Clasificaciones de la dimensión utilidad de la encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	56
Figura 10. Ejemplo de validación de uno de los expertos evaluadores del instrumento de medición. Fuente: esta investigación	64
Figura 11. Medias de Relevancia. Fuente: esta investigación	66
Figura 12. Imágenes de los primeros cinco indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación	67
Figura 13. Imágenes de los siguientes cinco indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación	68
Figura 14. Imágenes de los últimos cuatro indicadores de la dimensión ambiental y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación	69
Figura 15. Imágenes de los cinco indicadores de la dimensión económica y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación	70
Figura 16. Imágenes de los cuatro indicadores de la dimensión social y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación.....	71
Figura 17. Imágenes de los seis indicadores de la dimensión tecnológica y niveles de la industria 4.0. Fuente: esta investigación	72
Figura 18. Preguntas de la encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación	73
Figura 19. Información de la empresa; apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	74
Figura 20. Hoja 1 y 2 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	75
Figura 21. Hoja 3 y 4 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	76
Figura 22. Hoja 5 y 6 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	77

Figura 23. Hoja 7 y 8 del segundo apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	78
Figura 24. Hoja 1 y 2 del tercer apartado incluido en el archivo utilizado para aplicación de caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	79
Figura 25. Ejemplo de aplicación de la caja de herramientas y encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación	80
Figura 26. Análisis factorial y Alfa de Cronbach. Fuente: Minitab.....	86
Figura 27. Porcentaje de acuerdo con la utilidad de la caja de herramientas. Fuente: esta investigación	86
Figura 28. Utilidad de la caja de herramienta por giro de empresas. Fuente: esta investigación.....	87
Figura 29. Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 1. Fuente: esta investigación.....	88
Figura 30. Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 2. Fuente: esta investigación.....	89
Figura 31. Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 3. Fuente: esta investigación.....	90
Figura 32. Comportamiento de los giros de las empresas en el Nivel 4. Fuente: esta investigación.....	91
Figura 33. Comportamiento del nivel en micros, pequeñas y medianas empresas. Fuente: esta investigación.....	93
Figura 34. Comportamiento del nivel en grandes empresas. Fuente: esta investigación.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de las industrias. Fuente: INEGI (2004).....	17
Tabla 2. Clasificación de las empresas manufactureras por tecnología. Fuente: basada en OCDE (2001).....	17
Tabla 3. Beneficios de la simbiosis industrial por dimensión de la sustentabilidad. Fuente: esta investigación.....	36
Tabla 4. Diferencias entre economía circular y sustentabilidad. Fuente: Geissdoerfer et al., 2017.....	38
Tabla 5. Avances propuestos por LIGTT con sus áreas de clasificación. Fuente: esta investigación, basada en LIGTT (2014).....	46
Tabla 6. Indicadores de la sustentabilidad. Fuente: esta investigación.....	50
Tabla 7. Indicadores ambientales de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria. Fuente: esta investigación.....	59
Tabla 8. Indicadores económicos de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria. Fuente: esta investigación.....	60
Tabla 9. Indicadores sociales de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria. Fuente: esta investigación.....	60
Tabla 10. Indicadores tecnológicos de la sustentabilidad evaluados en áreas de la industria. Fuente: esta investigación.....	60
Tabla 11. Análisis cuantitativo de evaluaciones de expertos por criterio utilizando la media. Fuente: esta investigación.....	65
Tabla 12. Resultados estadísticos obtenidos en Excel, representando cada giro de las empresas evaluadas, así como su comportamiento en cada nivel de la industria 4.0. Fuente: esta investigación.....	81
Tabla 13. Resultados estadísticos obtenidos en Excel, representando cada giro con su porcentaje en la Escala de Likert de la encuesta de satisfacción. Fuente: esta investigación.....	84

REFERENCIAS

- Abdul-Rashid, S. H. H., Sakundarini, N., Raja Ghazilla, R. A., & Thurasamy, R. (2017). The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance: empirical evidence from Malaysia. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), 182-204
- Ackah, I. (2015). Investing in the cheapest form of energy: efficiency practices of SMEs in rural Ghana. University of Portsmouth, UK, Africa Centre for Energy Policy, Accra, Ghana.
- Adexus. (22 de julio de 2019). Opinión: sustentabilidad tecnológica: la estrategia clave para el futuro de las empresas. *América RETAIL*. Recuperado de <https://www.america-retail.com/opinion/opinion-sustentabilidad-tecnologica-la-estrategia-clave-para-el-futuro-de-las-empresas/>
- AENOR (2014). Certificación ambiental. Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado de http://www.aenor.com/aenor/certificacion/mambiente/medio_ambiente.asp#.Vti_QJPhCXo01/06/2015
- Alava Naranjo, J. D. (2017). Diseño de un programa de producción más limpia para una fábrica procesadora de semielaborados de cacao y productos culinarios. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/30392/1/Tesis%20Daniel%20Alava_FORMATO%20FINAL_IMPRIMIR%20PASTA%20ROJA_2017.pdf
- Alkaya, E., & Demirer, G. N. (2014). Improving resource efficiency in surface coating/painting industry: practical experiences from a small-sized enterprise. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(8), 1565-1575.
- Álvarez, M. J., Fernández, R., & Romera, R. (2014) Is Eco-Innovation a Smart Specialization Strategy for Andalusia? One approach from the multivariate analysis. *Revista de Estudios Regionales No. 100*, 171-195.
- Anderl, R. & Fleischer, J. (2015). Guideline Industrie 4.0 – Guidance for German small and medium sized companies. *VDMA German Engineering Federation*, 1-30.
- Aranda, R. & Zabalza, I. (2010). *Ecodiseño y Análisis de Ciclo de Vida*. España. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Arenas, D., Fosse, J., & Huc, E. (2010). *El giro hacia la empresa verde*.
- Bak, C., Bhattacharya, A., Edenhofer, O., & Knopf, B. (2017). Toward a Comprehensive Approach to Climate Policy. *Sustainable Infrastructure and Finance*.
- Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (20 de Septiembre de 2003). Obtenido de www.iadb.org

- Banda Gamboa, H. A. (2014). Impacto de la manufactura inteligente en la industria y la academia. *Cuartas Jornadas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias*, 1-8. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39002822/Impacto_de_la_Manufactura_Inteligente.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIMPACTO_DE_LA_MANUFACTURA_INTELIGENTE_EN.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191120%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191120T064451Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=bcdff5e8d8f7b68b8b522a3acfc9ef25b386bccd808370ad31fb651833c82e6e
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. (2007). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. Recuperado de <http://files.trendsandissues.webnode.com/200000010-3884839004/educamadrid-2007.pdf>
- Bastías, F. (22 de julio de 2019). Opinión: sustentabilidad tecnológica: la estrategia clave para el futuro de las empresas. *América RETAIL*. Recuperado de <https://www.america-retail.com/opinion/opinion-sustentabilidad-tecnologica-la-estrategia-clave-para-el-futuro-de-las-empresas/>
- Beekaroo, D., Callychurn, D. S., & Hurreeram, D. K. (2018). Developing a sustainability index for Mauritian manufacturing companies. *Ecological Indicators*, (96), 250-257.
- Beier, G., Niehoff, S., Ziems, T., Xue, B. (2017). Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4, 227–234. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40684-017-00288>
- Benavides, O. (2013). Integración vertical e integración horizontal en un escenario de acelerada innovación tecnológica: evidencia empírica y modelo teórico, 19. Recuperado de [http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xviii/docs\(16.05.pdf](http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xviii/docs(16.05.pdf)
- Birch, A., Hon, K. K. B., & Short, T. (2012). Structure and output mechanisms in Design for Environment (DfE) tools. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.029
- Blohmke, J. (2014). Technology complexity, technology transfer mechanisms and sustainable development. *Energy for Sustainable Development*, 23, 237-246.
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., da Silva, M. T., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*, 10, 3740; doi:10.3390/su10103740
- Bossle, M. B., de Barcellos, M. D., Vieira, L. M., & Sauvée, L. (2016). The drivers for adoption of eco-innovation. *Journal of Cleaner Production*, 113, 861-872.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2003). *Cradle to cradle, remaking the way we make things*. Londres: Vintage.

- Buluswar, S., Friedman, Z, Mehta, P., Mitra, S., & Sathre, R. (2014). 50 Breakthroughs: Critical scientific and technological advances needed for sustainable global development. LIGTT.
- Burritt, R., & Christ, K. (2016). Industry 4.0 and environmental accounting: A new revolution? *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility*, 1, 23–38. Recuperado de <https://ajssr.springeropen.com/articles/10.1186/s41180-016-0007-y>
- Buttol, P., Buonamici, R., Naldesi, L., Rinaldi, C., Zamagni, A., & Masoni, P. (2012). Integrating services and tools in an ICT platform to support eco-innovation in SMEs. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(2), 211-221.
- Cabrera Cruz, R. B. E., Gordillo Martínez, A. J., & Cerón Beltrán, A. (2003). Inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19 (4), 171-181.
- Cai, W. G., & Zhou, X. L. (2014). On the drivers of eco-innovation: empirical evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 79, 239-248.
- Camisón, C., & Villar-López, A. (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. *Journal of business research*, 67(1), 2891-2902.
- Carrillo-Hermosilla, J., Del Río, P., & Könnölä, T. (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, 18(10), 1073-1083.
- Carro Suárez, J., Reyes Guerra, B., Rosano Ortega, G., Garnica González, J., & Pérez Armendáriz, B. (2016). *Modelo de desarrollo sustentable para la industria de recubrimientos cerámicos*. doi: 10.20937/RICA.2017.33.01.12
- Cemefi. (2014). El concepto de responsabilidad social empresarial. Centro Mexicano de Filantropía. Recuperado de http://www.cemefi.org/esr/images/stories/pdf/esr/concepto_esr.pdf 20/05/2015
- Cerdan, C., Gazulla, C., Raugei, M., Martinez, E., & Fullana-i-Palmer, P. (2009). Proposal for new quantitative eco-design indicators: a first case study. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2009.07.010
- Chen, C. C., Shih, H. S., Shyur, H. J., & Wu, K. S. (2012). A business strategy selection of green supply chain management via an analytic network process. *Computers & Mathematics with Applications*, 64(8), 2544-2557.
- Chen, J., Cheng, J., & Dai, S. (2017). Regional eco-innovation in China: An analysis of eco-innovation levels and influencing factors. *Journal of Cleaner Production*, 153, 1-14.
- Chen, W., Chen, J., Xu, D., Liu, J., & Niu, N. (2017). Assessment of the practices and contributions of China's green industry to the socio-economic development. *Journal of cleaner production*, 153, 648-656.
- Cheng, C. C., & Shiu, E. C. (2012). Validation of a proposed instrument for measuring eco-innovation: An implementation perspective. *Technovation*, 32(6), 329-344.

- Cheng, C., Yang, C., & Sheu, C. (2014). The link between eco-innovation and business performance: A Taiwanese industry context. *Journal of Cleaner Production*, 81-90.
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30.
- Chertow, M. R., Ashton, W., & Kuppalli, R. (2004). The industrial symbiosis research symposium at Yale: advancing the study of industry and environment.
- Chun, Y., & Bidanda, B. (2013). Sustainable manufacturing and the role of the International Journal of Production Research. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 7448-7455.
- CloudWave. Agile Service Engineering for the Future Internet. Disponible en <http://cloudwave-fp7.eu/content/cloudwave-user-guide> [consulta: 04/2017].
- Comisión Europea. (2014). Simbiosis Industrial: Aprovechar la Economía Circular. Plan de Acción sobre EcoInnovación. Recuperado de http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/20140127-industrial-symbiosis-realising-the-circulareconomy_es.html
- Constable, D. J. C., Gonzalez, M., & Morton, S. A. (2016). Towards More Sustainable Chemical Engineering Processes: Integrating Sustainable and Green Chemistry into the Engineering Design Process. In *Sustainability in the Design, Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes* (pp. 1-34).
- Dangelico, R. M., & Pontrandolfo, P. (2010). From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. *Journal of Cleaner Production*, 18(16), 1608-1628.
- Dangelico, R. M., Pujari, D., & Pontrandolfo, P. (2017). Green product innovation in manufacturing firms: A sustainability-oriented dynamic capability perspective. *Business Strategy and the Environment*, 26(4), 490-506.
- Dankers, C. (2004). Las normas sociales y ambientales, la certificación y el etiquetado de cultivos comerciales (No. 2). Food & Agriculture Org.
- Davidson, A. J., Binks, S. P., & Gediga, J. (2016). Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(11), 1624-1636.
- De Oliveira, U. R., Espindola, L. S., da Silva, I. R., da Silva, I. N., & Rocha, H. M. (2018). A systematic literature review on green supply chain management: research implications and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*. 187, 537-561.
- Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. Trabajo presentado en Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Universidad de Deusto.
- Despeisse, M., & Ford, S. (2015, September). The role of additive manufacturing in improving resource efficiency and sustainability. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (129-136). Springer, Cham.

- Despeisse, M., Ball, P.D., Evans, S., & Levers, A. (2009). Industrial ecology at factory level – a conceptual model”. *Journal of a Cleaner Production*, 31, 30-39.
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A., Knowles, S., Minshall, T. H. W., Mortara, L., Reed-Tsochas, F. P., & Rowley J., (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting & Social Change*, 115, 75-84.
- DiezMartínez, C. V., Villalobos, J. A., & Ruiz, K. O. (Julio, 2015). *Desarrollo sustentable e innovación: una simbiosis industrial para la biomitigación del CO2*. Trabajo presentado en 13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?” de Santo Domingo, Dominican Republic.
- Dörry, S., & Schulz, C. (2018). Green financing, interrupted. Potential directions for sustainable finance in Luxembourg. *Local Environment*, 23(7), 717-733.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58. doi:10.1109/mie.2014.2312079
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- Eltayeb, T. K., Zailani, S., & Ramayah, T. (2011). Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes. *Resources, conservation and recycling*, 55(5), 495-506.
- Engadget. (2017). Boeing uses first FAA-approved 3D-printed parts for the 787. Recuperado de <https://www.engadget.com/2017/04/11/boeing-faa-approved-3d-printed-metals-787/>
- Erkman, S. (2004). Vers une écologie industrielle, *ECLM*, 197.
- Falcone, P. M., Morone, P., & Sica, E. (2018). Greening of the financial system and fuelling a sustainability transition: A discursive approach to assess landscape pressures on the Italian financial system. *Technological Forecasting and Social Change*, 127, 23-37.
- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 85, 8-18.
- Fernandez, J. (2005). *Material Architecture: emergent materials for innovative buildings and ecological construction*. Architectural Press, Oxford.
- Fondo para el Medio Ambiente Mundial FMAM. (2000). Contribuciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial al Programa 21. Recuperado de <http://www.bivica.org/upload/medio-ambiente.pdf>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587. Recuperado de

<https://www.researchgate.net/publication/286779937> Additive manufacturing and sustainability an exploratory study of the advantages and challenges

- Fresner, J., Jantschgi, J., Birkel, S., Bärnthaler, J., & Krenn, C. (2010). The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects. *Journal Cleaner Production*, 18(2), 128-136.
- Gavrilescu, M., Campean, T., & Gavrilescu, D. A. (2017). Extending Production Waste Life Cycle and Energy Saving by Eco-Innovation and Eco-Design: The Case of Packaging Manufacturing. In Conference on Sustainable Energy, 611-631.
- Geiser, K. (2001). Cleaner production perspectives 2: integrating CP into sustainability strategies. *Industry & Environmental*, 24(1), 33-36.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- Ghadimi, P., & Heavey, C. (2014). Sustainable supplier selection in medical device industry: toward sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 15, 165-170.
- Giroto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: a review. *Waste management*, 45, 32-41.
- Giurco, D., Cohen, B., Langham, E., & Warnken, M. (2011). Backcasting energy futures using industrial ecology. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 797-818.
- Guanghui, W., & Lidong, W. (2016). Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 6(4), 1-8.
- Guimarães, R. P. (1998) óp. Cit. Recuperado de <https://www.ecoport.net/temas-especiales/desarrollo-sustentable/las dimensiones de la sustentabilidad/>
- Hall, C. R. & Dickson, M. W. (2011). Economic, Environmental, and Health/Well-Being Benefits Associated with Green Industry Products and Services: A Review. *Journal of Environmental Horticulture*, 29 (2), 96-103.
- Han, R. (2018). Research on the Industrial Foundation and Financial Support of Green Economy Development.
- Hashim, H., Bakar, S. M. A., & Lim, J. S. (2014). Green industry for low carbon economy: palm oil green assessment tool. *Energy Procedia*, 61, 2759-2762.
- Hashmi, M., Damanhour, A., & Rana, D. (2015). Evaluation of Sustainability Practices in the United States and Large Corporations. *Journal of Business Ethics*, 127(3), 673-681.
- Hemming, C., Pugh, S., Williams, G., & Blackburn, D. (2004). Strategies for sustainable development: use of a benchmarking tool to understand relative strengths and weaknesses and identify best practice. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 11(2), 103-113.

- Henriques, J., & Catarino, J. (2014). Sustainable Value and Cleaner Production - research and application in 19 Portuguese SME. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.02.030
- Herczeg, G., Akkerman, R., & Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1058-1067.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- Hojnik, J. & Ruzzier, M. (2016). What drives eco-innovation? A review of an emerging literature; *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 31-41,
- Interface, Inc. (2009). A Model of Organizational Sustainability. Recuperado de www.kyotosmart.net/pdf/case_interface.pdf
- Jayal, A. D., Badurdeen, F., Dillon, O. W., & Jawahir, I. S. (2010). Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3), 144-152.
- Jeong, K. P., & Kim, J. G. (2017). Lead acid battery recycling and material flow analysis of lead in Korea. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-7.
- Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., & Feng, S. C. (2013). Categorization of indicators for sustainable manufacturing. *Ecological Indicators*, 24, 148-157.
- Klemeš, J. J., Varbanov, P. S., & Huisingh, D. (2012). Recent cleaner production advances in process monitoring and optimisation. *Journal of Cleaner Production*, 34, 1-8.
- Klewitz, J., & Hansen, E. G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.017
- Knight, P., & Jenkins, J. O. (2009). Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2008.10.002
- Kolk, A. (2015). The role of international business in clean technology transfer and development. *Climate Policy*, 15(1), 170-176.
- LCSP (2016) Lowell Center for Sustainable Production Revisado en febrero 2017: <http://www.sustainableproduction.org/about.what.php>
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República, México, 28 de enero de 1988. Última Reforma publicada DOF 09-01-2015.
- Lin, K. C., Shyu, J. Z., & Ding K. (2017). A Cross-Strait Comparison of Innovation Policy under Industry 4.0 and Sustainability Development Transition. *Sustainability*, 9(5), 786. Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/9069af9426970b88df191dfb61fc9f01/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2032327>

- Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis, Crossing Academic-Practitioner Boundaries. *Industrial Ecology*, 16(1), 28–37.
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Foropona, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally- sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting & Social Change*, 132, 18-25.
- Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Jabbour, C.J.C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1), 273-286. Recuperado de https://ideas.repec.org/a/spr/annopr/v270y2018i1d10.1007_s10479-018-2772-8.html
- López Ramón y Cajal, J., y Escudero Ceballos, V. (2016). Industria 4.0, la gran oportunidad. In: *Economía Aragonesa*. Aragón: © Ibercaja Banco, S.A., pp. 111-125.
- Lyon, T. P., & Van Hoof, B. (2011). Evaluación del Programa de Cadenas de Suministro Verdes en México. *Gaceta de Economía: 'Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 301-348.
- Mantese, G. C., Bianchi, M. J., & Amaral, D. C. (2018). The industrial symbiosis in the product development: an approach through the DFIS. *Procedia Manufacturing*, 21, 862-869.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). *The Internet of Things: Mapping the Value beyond the Hype*. McKinsey Global Institute, p.2. http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/the_internet_of_things_the_value_of_digitizing_the_physical_world
- Martín, L. (2 de marzo de 2018). Las industrias más contaminantes comienzan a tomar medidas. *Compromiso Empresarial, la revista líder en innovación social*. Recuperado de <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2018/03/las-industrias-mas-contaminantes-comienzan-a-tomar-medidas>
- Masoumik, S., Abdul-Rashid, S., Olugu, E., & Raja, R. (2014). Sustainable supply chain design: A configurational approach. *The Scientific World Journal*, (2014), 1-16.
- Meakin, S. (1992). The Río Earth Summit: Summary of the United Nations Conference on the Environment and Development. *Science and Technology Division*.
- Millar, H.H. & Rusell, S.N. (2011). The adoption of sustainable manufacturing practices in the Caribbean. *Business Strategy and the Environment*, 20, 512-526. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/bse.707>
- Millson, M. R. (2017). How Customers' Perception of Environmental Sustainability Information Moderates the Relationship between Social Media Use and the Intention to Purchase Technology-Based Products. *International Journal of Business and Information*, 12(4) 343-368.

- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28-41.
- Mirata, M., & Emtairah, T. (2005). Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: the case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *Journal of cleaner production*, 13(10-11), 993-1002.
- Mirata, M., & Emtairah, T. (2005). Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: the case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *Journal of cleaner production*, 13(10-11), 993-1002.
- Mohd, S., & Kaushal, V. K. (2018). Green finance: A step towards sustainable development. MUDRA: *Journal of Finance and Accounting*, 5(1), 59-74.
- Molamohamadi, Z., & Ismail, N. (2013). Developing a new scheme for sustainable manufacturing. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 1(1), 1-5.
- Mosconi, F. (2015). The new European industrial policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance. doi: [10.4324/9781315761756](https://doi.org/10.4324/9781315761756)
- Müller, J.M., Kiel, D., & Voigt, K.-I. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. *Sustainability*, 10, 247. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/247>
- Mutisya, F. M., & Kinoti, J. (2017). Effect of green supply chain practices on performance of large chemical manufacturing firms in Nairobi Country Kenya. *International Journal of Supply Chain Management*, 2(2), 1-21.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Naciones Unidas. (2002). Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Recuperado de https://unctad.org/es/Docs/aconf199d20_sp.pdf
- Nair, S., & Paulose, H. (2014). Emergence of green business models: The case of algae biofuel for aviation. *Energy Policy*, 65, 175-184.
- Namakforoosh (2000). *Metodología de la investigación*. México: Limusa
- Navarrete, F. (2015). Las prácticas de desarrollo sustentable: un acercamiento descriptivo a las pequeñas empresas de Guadalajara, México. *Cuadernos De Administración*, 48-58.
- Negny, S., Belaud, J. P., Robles, G. C., Reyes, E. R., & Ferrer, J. B. (2012). Toward an eco-innovative method based on a better use of resources: application to chemical process preliminary design. *Journal of Cleaner Production*, 32, 101-113.
- Nidumolu, R., Prahalad, C. K., & Rangaswami, M. R. (2009). Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard business review*, 87(9), 56-64.

- Nielsen, E., Jolink, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., Chappin, M., & Lozano, R. (2017). Sustainable collaboration: The impact of governance and institutions on sustainable performance. *Journal of cleaner production*, 155, 1-6.
- OCDE. (2011). Hacia el Crecimiento Verde: Un Resumen para los diseñadores de Políticas, Publicado por OCDE.
- Organización de las Naciones Unidas (1987). Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común. Nueva York. Extraído el 23 de Mayo 2012 de [http://www.eclac.cl/rio20/noticias/paginas/6/43766/Plataforma de 91.ESP.pdf](http://www.eclac.cl/rio20/noticias/paginas/6/43766/Plataforma_de_91.ESP.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2011). Iniciativa de industria verde para el desarrollo industrial sostenible. Recuperado de [http://www.greenindustryplatform.org/wp-content/uploads/2014/06/green-industry ES highres.pdf](http://www.greenindustryplatform.org/wp-content/uploads/2014/06/green-industry_ES_highres.pdf)
- Ortega Ríosvelasco, P., Torres-Argüelles, V., Noriega Morales, S., Martínez Gómez, Castaño, V. M., & Solís, S. S. (2015). Conceptos de una industria verde: revisión de literatura. *Culcyt/Sustentabilidad*, (55), 1-12.
- Ospina, G., & Sánchez, V. (2013). Diseño de herramientas para la gestión de prácticas ambientales en los talleres automotrices de Armenia, Quindío. *Contexto*, 2, 171-185.
- Ottman, J. (2017). *The new rules of green marketing: Strategies, tools, and inspiration for sustainable branding*. Routledge.
- Pane Haden, S. S., Oyler, J. D., & Humphreys, J. H. (2009). Historical, practical, and theoretical perspectives on green management: An exploratory analysis. *Management Decision*, 47(7), 1041-1055.
- Pardavé Livia, W. (2006). Estrategias ambientales de las 3R a las 10R. Recuperado de <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2015/07/Estrategias-ambientales-de-las-3R-a-las-10-R-1ra-Edici%C3%B3n.pdf>
- Parmigiani, A., Klassen, R. D., & Russo, M. V. (2011). Efficiency meets accountability: Performance implications of supply chain configuration, control, and capabilities. *Journal of operations management*, 29(3), 212-223.
- Peng, Y. S., & Lin, S. S. (2008). Local responsiveness pressure, subsidiary resources, green management adoption and subsidiary's performance: Evidence from Taiwanese manufactures. *Journal of Business Ethics*, 79(1-2), 199-212.
- Perasso, V. (12 de octubre de 2016). Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos). *BBC*. Recuperado de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>
- Pinzón Latorre, A. (2009). La Simbiosis Industrial en Kalundborg, Dinamarca. *Dearq*, (4), 155-161.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2018). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 198, 401-416.

- PROFEPA. (2017, junio). PROFEPA-Acciones y programas- Auditoria ambiental. Recuperado el 30 de junio de 2017, de <https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/auditoria-ambiental-56904#>
- Puente, M. R., Arozamena, E. R., & Evans, S. (2015). Industrial symbiosis opportunities for small and medium sized enterprises: preliminary study in the Besaya region (Cantabria, Northern Spain). *Journal of Cleaner Production*, 87, 357-374.
- Raitzén, S., & Sandström, G. Ö. (2017). Barriers to the Circular Economy –integration of perspectives and domains. *Procedia CIRP*, 64, 7-12.
- Rajkumar, R. R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems: The next computing revolution, *Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC'10)*, New York, NY, 731–736. doi: [10.1145/1837274.1837461](https://doi.org/10.1145/1837274.1837461)
- Ranatunga, R. S. W. B. S. M., Rupasinghe, T. D., & Liyanaarachchi, N. (2017). An analytical Modelling approach to assess the applicability of green chain operations: A case study from the SRI Lankan apparel industry. In *Proceedings of the 3rd World Conference on Supply Chain Management*, 2, 1-16.
- Ren, J., Manzardo, A., Toniolo, S., & Scipioni, A. (2013). Sustainability of hydrogen supply chain. Part I: identification of critical criteria and cause effect analysis for enhancing the sustainability using DEMATEL. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 14159-14171.
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, 32(2), 319-332.
- Renukappa, S., Egbu, C., Akintoye, A., & Suresh, S. (2013). Drivers for embedding sustainability initiatives within selected UK industrial sectors. *Journal of International Real Estate and Construction Studies*, 3(1), 51.
- Rivera Henríquez, M. V., & Baeza Herrera, T. A. (2012). Sustainable Development in Latin America. *Interamerican Journal of Environment and Tourism*, 8(1), 26-33. Recuperado de http://riat.utralca.cl/index.php/test/article/view/53/pdf_1
- Rojas, J. P. (2011). Siete Pasos para implementar la Producción más Limpia en su Organización. *Towards Sustainability*, 138, 1-3. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34116900/pasos_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSiete_Pasos_para_implementar_la_Producci.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191120%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191120T015247Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=ec803a7f3b22e345f6f2472f24ef17963869f6359691ef5c89c7de96257c9438
- Rosen, M. A., & Kishawy, H. A. (2012). Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs. *Sustainability*, 4(2), 154-174.

- Rosenthal, C., Fatimah, Y. A., & Biswas, W. K. (2016). Application of 6R Principles in Sustainable Supply Chain Design of Western Australian White Goods. *Procedia CIRP*, 40, 318-323.
- Sabadie, J. A. (2014). Technological innovation, human capital and social change for sustainability. Lessons learnt from the Industrial Technologies Theme of the EU's Research Framework Programme. *Science of the Total Environment*, 481, 668-673.
- Salcedo G, M. P., Reboloso, F., & Barber K, C. M. (2010). El desarrollo sustentable. Modelo de conciliación entre el progreso económico, la justicia social y la preservación del medio ambiente. *Gestión y estrategia*, 37.
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready, *Production Engineering*, 9(1), 143-148.
- Scur, G., & Barbosa, M. E. (2017). Green supply chain management practices: Multiple case studies in the Brazilian home appliance industry. *Journal of cleaner production*, 141, 1293-1302.
- Setlak, G., & Pieczonka, S. (2009). Design Concept of Intelligent Management Systems. *International Book Series "Information Science and Computing". Intelligent Information and Engineering Systems*, 13, 142-149.
- Shapira, P., Gök, A., Klochikhin, E., & Sensier, M. (2014). Probing "green" industry enterprises in the UK: A new identification approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 85, 93-104.
- Simboli, A., Taddeo, R., & Morgante, A. (2014). Analysing the development of Industrial Symbiosis in a motorcycle local industrial network: the role of contextual factors. *Journal of cleaner production*, 66, 372-383.
- Singh, S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2016). Development of sustainable manufacturing performance evaluation expert system for small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, 40, 608-613.
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 1512-1532.
- Spooren, Mortelmans y Denekens (2007), 'Student evaluation of teaching quality in higher education: development of an instrument based on 10 Likert-scales'. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. Vol. 32:6, 667-679. Inglaterra: Routledge.
- Stahel, W., & Reday, G. (1976). The potential for substituting manpower for energy, *Report to the Commission of the European Communities*.
- Stahel, W., 1982. The product life factor, in: Orr, G.S. (ed.), *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies. The Role of the Private Sector*. Houston Area Research Centre, Houston, 72-105.
- Staniškis, J. K., & Katiliūtė, E. (2016). Complex evaluation of sustainability in engineering education: case & analysis. *Journal of Cleaner Production*, 120, 13-20.

- Stigson, B. (1999). What is Eco-Efficiency? in Workshop “Eco-Efficiency.” Recuperado de www.wbcscd.ch/DocRoot/IVejTnoAn2qiwkxIpsWL/EEWhat.pdf
- Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S., & Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018303677?via%3Dihub>
- Stock, T.; Seliger, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 2016, 40, 536–541. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711600144X?via%3Dihub>
- Tapia Ramírez, R. (31 julio 2018). Industria 4.0: Una puerta a las fábricas sustentables del futuro. [Inmobiliare]. Recuperado de <https://inmobiliare.com/industria-4-0-una-puerta-a-las-fabricas-sustentables-del-futuro/>
- Tian, Y., Govindan, K., & Zhu, Q. (2014). A system dynamics model based on evolutionary game theory for green supply chain management diffusion among Chinese manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 80, 96-105.
- Trianni, A., Cagno, E., & Farné, S. (2016). Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. *Applied Energy*, 162, 1537-1551.
- UNEP. (2013). Resource Efficient and Cleaner Production. Recuperado de <http://www.unep.fr/scp/cp/>
- United Nations. (1972). Report of the United Nations Conference on the Human Environment. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Documents/Maestr%C3%ADa/Tesis/Literatura%20Sustentabilidad/Buenos/OK/Estocolmo%201972.pdf>
- United Nations. (2015). Paris Agreement. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- Urban, F., Siciliano, G., Sour, K., Lonn, P. D., Tan-Mullins, M., & Mang, G. (2015). South–South Technology Transfer of Low-Carbon Innovation: Large Chinese Hydropower Dams in Cambodia. *Sustainable Development*, 23(4), 232-244.
- Villavicencio, A. (2004). Mitos y realidad del Mecanismo de Desarrollo Limpio. *Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, 56-65. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/38281/38155>
- Wenbo, L. (2011). Comprehensive evaluation research on circular economic performance of eco-industrial parks. *Energy Procedia*, 5, 1682-1688.
- Wever, R., & Vogtländer, J. (2015). Design for the Value of Sustainability. Handbook of Ethics, Values, and Technological Design: Sources, Theory, Values and Application Domains, 513-549.

- Wiloso, E. I., Nazir, N., Hanafi, J., Siregar, K., Harsono, S. S., Setiawan, A. A. R., Mayuranto, Romli, M., Utama N. A., Shantiko B., Jupesta J., Sari A. A., Saputra, S. Y., Fang, K., & Utomo, T. H. A. (2018). Life cycle assessment research and application in Indonesia. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-11.
- Winroth, M., Almström, P. & Andersson, C. (2016). Sustainable production indicators at factory level. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 842-873.
- Yan, J., & Feng, C. (2014). Sustainable design-oriented product modularity combined with 6R concept: a case study of rotor laboratory bench. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(1), 95-109.
- Yuan, Z., Bi, J., & Moriguichi, Y. (2006). The Circular Economy: A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2). Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1162/108819806775545321>