



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO
MECÁNICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN DE INSTRUMENTOS SOSTENIBLES PARA SU INTEGRACIÓN EN
EL PROCESO DE DISEÑO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
LUIS GUSTAVO GARCÍA CONEJO

TUTOR PRINCIPAL
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., JULIO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

Secretario: Dra. Hernández Padilla Flor

1 er. Vocal: Dr. Borja Ramírez Vicente

2 do. Vocal: Dr. Ávila Cedillo Javier Noé

3 er. Vocal: M. en D. Sattelle Gunther Vanessa

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

FIRMA

(Segunda hoja)

Resumen

La importancia y relevancia del diseño en la crisis ambiental es innegable, pues si bien, no es la respuesta completa hacia un mundo sostenible, es una actividad que nos permite caminar hacia mejores prácticas industriales y de consumo.

Con el objetivo de caracterizar los distintos instrumentos sostenibles aplicables al proceso de diseño, mediante su clasificación a partir de su principio de funcionamiento, el tipo de información que usan y proveen; para desarrollar instrumentos auxiliares que integren la sostenibilidad en el proceso de diseño para el desarrollo de productos a escala industrial, se desarrolló una lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.

Se realizó una revisión de la literatura y recopilación de 63 herramientas y entes sostenibles para su análisis y clasificación por dimensión de la sostenibilidad, naturaleza del instrumento y etapa del proceso de diseño donde es aplicable. Se definieron 5 grupos de instrumentos de diseño sostenible, y recomendaciones para su integración en el proceso de diseño. Del análisis de grupos e instrumentos, se desarrolló una lista de verificación, que proviene de la homologación de principios y guías de diseño ambiental y sostenible de uso común, y los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.

Esta lista fue probada en un grupo de 20 participantes, conformado por alumnos de maestría en ingeniería de últimos semestres, así como participantes del centro de diseño, manufactura e innovación tecnológica de la facultad de ingeniería, y evaluada mediante una serie de cuestionarios para identificar áreas de oportunidad y virtudes del instrumento. Se demostró por este medio su validez y relevancia para generar conciencia e identificar los distintos temas y variables que contempla la sostenibilidad. Así mismo, se identificaron mediante los usuarios las etapas de diseño: especificaciones y diseño conceptual, donde se puede aplicar la lista de verificación y áreas de oportunidad en la manera que es presentada la información previa y los lineamientos que conforman a la lista, y la inclusión y clarificación de algunos de estos. Como a trabajo a futuro, se plantea la evaluación de distintos medios para presentar la lista, el desarrollo de un caso de estudio para la su aplicación, así como la exploración de sus capacidades y el desarrollo de un método de evaluación, para la cuantificación de los resultados de la lista y el conocimiento de sus usuarios tal que permita darle seguimiento durante el proceso de diseño.

Contenido

1. Introducción	6
2. Antecedentes	7
2.1 Diseño y sostenibilidad.....	7
2.2 Instrumentos de diseño sostenible	14
2.3 Trabajos previos	18
3. Planteamiento del problema.....	25
3.1 Definición del problema	25
3.2 Justificación	26
3.3 Objetivo	27
3.4 Alcances.....	27
3.5 Proceso de trabajo	28
4. Desarrollo	29
4.1 Revisión de literatura y recopilación de instrumentos	29
4.2 Clasificación de instrumentos y análisis de grupos definidos	33
4.3 Desarrollo de recomendaciones para la integración de instrumentos sostenibles al proceso de diseño	38
4.4 Homologación de principios de diseño sostenible e integración de objetivos de desarrollo sostenible	40
4.5 Desarrollo de un instrumento de diseño sostenible	48
5. Conclusiones y trabajo a futuro	68
Trabajo a futuro.....	69
Referencias.....	71
Anexo 1 Relación entre metas de los ODS y los temas abordados	80
Anexo 2 Preguntas desarrolladas a partir de los temas identificados en los ODS y los principios de diseño sostenible	86
Anexo 3 Cuestionario sobre la percepción de la lista de verificación.....	90
Anexo 4 Lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.....	93

1. Introducción

El diseño de productos, visto como una actividad meramente humana, tiene incidencia sobre la crisis climática y social que nos atañe hoy y en los años próximos. Si bien no es la raíz de todos nuestros problemas, puede aportar a la solución de estos al plantear el diseño desde lo sostenible.

Para implementar la sostenibilidad en el diseño, se puede hacer uso de distintas y variadas metodologías, herramientas, principios, guías, marcos de trabajo, indicadores, todos estos llamados instrumentos en el presente trabajo para abordarlos a todos, que apoyan al diseñador del producto. Existen una gran variedad de estos instrumentos con distintas características, por lo que se vuelve complicado saber cuáles son las distintas opciones que se tienen, dónde utilizarlos en el proceso de diseño y qué tipo de enfoque poseen respecto a la sostenibilidad. Incluso, el mismo concepto de sostenibilidad presenta problemas de homologación, con su término anteriormente difundido sustentabilidad, la falta de dimensiones económica y social, o el desconocimiento del término por parte de los diseñadores.

En el presente trabajo se aborda la sostenibilidad en el diseño desde los distintos instrumentos sostenibles usados por los diseñadores para desarrollar productos, con el objetivo de implementar la sostenibilidad en el proceso de diseño mediante el desarrollo de una lista de verificación para el diseño de productos sostenibles, que, a su vez sirve de guía para el diseñador.

El trabajo consta de los siguientes capítulos:

1. Antecedentes: trata sobre la relación de diseño y sostenibilidad, qué se ha hecho anteriormente y áreas de oportunidad en la implementación de la sostenibilidad.
2. Planteamiento del problema: se habla del porqué del trabajo, la justificación, objetivo y alcances de la investigación.
3. Desarrollo: se describe el proceso seguido, desde la búsqueda de información, pasando por los análisis realizados, hasta el desarrollo de la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.
4. Conclusiones y trabajo a futuro: sobre las conclusiones obtenidas del trabajo, así como las oportunidades de mejora y tareas a desarrollar.

2. Antecedentes

2.1 Diseño y sostenibilidad

En la era del Antropoceno, según el último reporte del índice de desarrollo humano, nuestras decisiones tienen implicaciones en todos los aspectos de nuestras vidas, donde el mayor riesgo para nuestra supervivencia somos nosotros mismos como humanidad (Conceicao, 2020). Y es que el diseño como actividad humana, a lo largo de la historia se ha convertido en esa herramienta de la humanidad capaz de transformar su entorno, la sociedad y crear más herramientas para lograrlo (Papanek, 1984). Respecto al término sostenibilidad, viene de la mano con el desarrollo sostenible, que significa "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades armonizando tres elementos: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente" (ONU, 2021).

Estos tres elementos o pilares conforman al marco de trabajo de la sostenibilidad conocido como triple balance o *triple bottom line* (TBL), que busca lograr un cambio en el sistema económico, donde se busca medir el impacto de las empresas en los aspectos ambiental, social y económico, buscando el bienestar de las personas y la salud del planeta (Elkington, 2018). Sin embargo, la actividad económica de las empresas está ligada al consumo de materia prima de manera histórica. Si pensamos en un futuro donde el PIB crece a múltiplos, necesitamos nuevos principios que nos permitan desacoplar el crecimiento del consumo de recursos para la elaboración de productos (Haapala et al., 2013).

Bajo estas premisas, el producto se vuelve el centro donde convergen el diseño y la sostenibilidad, mediante su intención. La intención del diseño en la infraestructura industrial actual es hacer productos atractivos, que cumplan regulaciones, con buen desempeño y dure lo suficiente para cumplir las expectativas del mercado (McDonough y Braungart, 2002), sin embargo, la crisis ambiental nos obliga a realizar un cambio en las prácticas, sobre todo en el cómo diseñamos. Y es que ningún negocio puede prosperar y ser competitivo sin sumarse a las nuevas demandas del mercado por productos y prácticas sostenibles. Ésta demanda crece aún más debido a las ventajas en innovación, competitividad y efectividad ambiental que brinda el enfoque sostenible (Lewis et al., 2017).

Una manera de conocer qué se considera cuando se diseña es analizando las definiciones de producto sostenible que proponen los distintos autores. (Ahmad et al., 2018) lo define como la habilidad de un producto de trabajar continuamente mientras asegura mantener los impactos ambientales mínimos, provee beneficios económicos y sociales para todos los grupos de interés de la empresa. Mientras que otros autores (Jaafar et al., 2007; X.

Zhang et al., 2020) además de los elementos anteriores, incluyen una perspectiva de ciclo de vida en su definición, otra perspectiva que se añade es la social donde se introducen elementos como comercio justo, el cumplimiento y protección de los derechos humanos en los procesos a lo largo del ciclo de vida (Parisi et al., 2015). Finalmente se concluye que cuando se habla de productos sostenibles se habla de productos con ventaja competitiva en el mercado y que sus impactos en los aspectos ambientales, sociales y económicos son mínimos o inexistentes a lo largo del ciclo de vida del producto.

Para conocer los efectos e impactos del producto bajo un enfoque sostenible, existe el análisis de ciclo de vida, que permite conocer las entradas y salidas e intercambios desde un punto de vista sostenible desde los procesos y actividades correspondientes a un producto (Manzini y Vezzoli, 2008). Desde un punto de vista tradicional en el diseño, podemos dar seguimiento a la mayoría de las características del ciclo de vida del producto, desde la identificación de necesidades y oportunidades hasta el plan de producción, donde se encuentra la información que describe al producto y su desempeño (Pahl et al., 2007; Ulrich, 2011). En la figura 2.1 podemos observar el sistema de entradas y salidas idealizado, donde las entradas suelen ser energía y recursos naturales usados como materia prima. Dentro de la caja se listan las etapas del ciclo de vida tradicionales, sin embargo, la etapa de fin de vida está dividida por dos etapas: por el reciclaje para los recursos que lo permitan, y el manejo de residuos para aquellos que no puedan ser reintroducidos. En las salidas están las emisiones y residuos, junto a los productos industriales. Es con esta información resultado de toma de decisiones a lo largo del proceso de diseño, con la que se describe el ciclo de vida del producto.

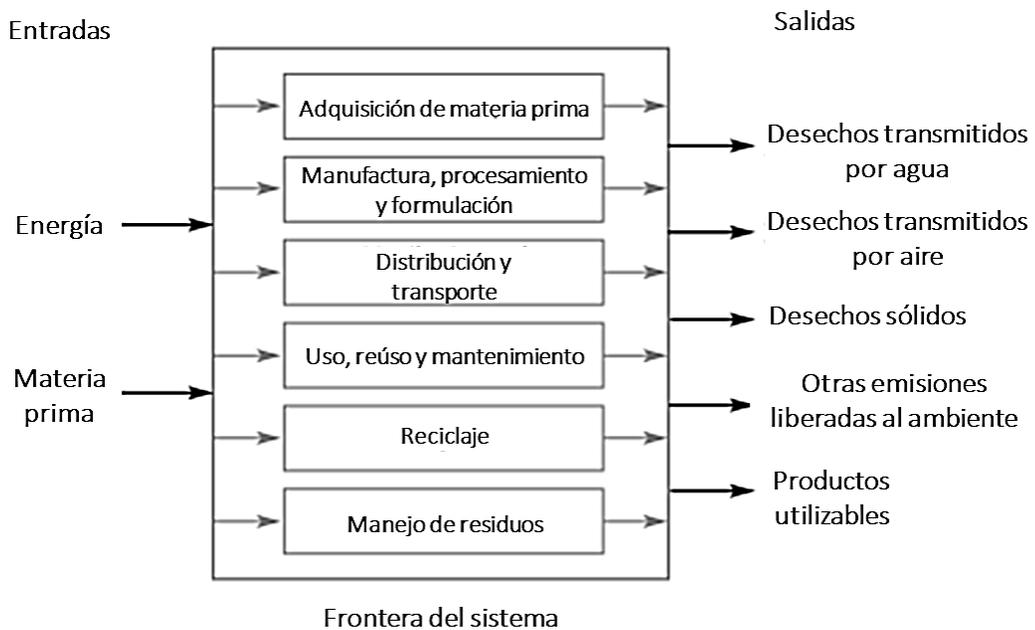


Figura 2.1 El sistema producto desde la perspectiva del ciclo de vida (Lewis et al., 2017).

Una perspectiva que permite clasificar y entender mejor los flujos de recursos son los dos metabolismos o ciclos, como se muestra en la figura 2.2 el diagrama de mariposa de la economía circular que toma como base el ciclo de vida del producto (Ellen MacArthur Foundation y IDEO, 2017; McDonough y Braungart, 2002): el natural y el tecnológico.

El ciclo natural corresponde a los *nutrientes biológicos*, que corresponden a los recursos existentes o diseñados para regresar al ciclo natural, donde se reintegra de manera segura mediante la interacción con el medio y microorganismos. Por otro lado, se encuentra el ciclo tecnológico, que corresponde a los *nutrientes tecnológicos*, que se componen de recursos hechos para reintegrarse al metabolismo de la industria. Estos recursos tienen el potencial de diseñarse para mantener su calidad para ser usados en múltiples aplicaciones. Para la correcta reintegración en sus respectivos ciclos, se requiere de identificar y separar los recursos, para darles el tratamiento que requieran. Las distintas ramas que se desprenden en cada ciclo corresponden a algunas de las estrategias existentes para reintegrar los recursos al ciclo de vida del producto. Entre más grande sea la rama, mayor será la cantidad de energía y recursos necesarios para su reintegración.

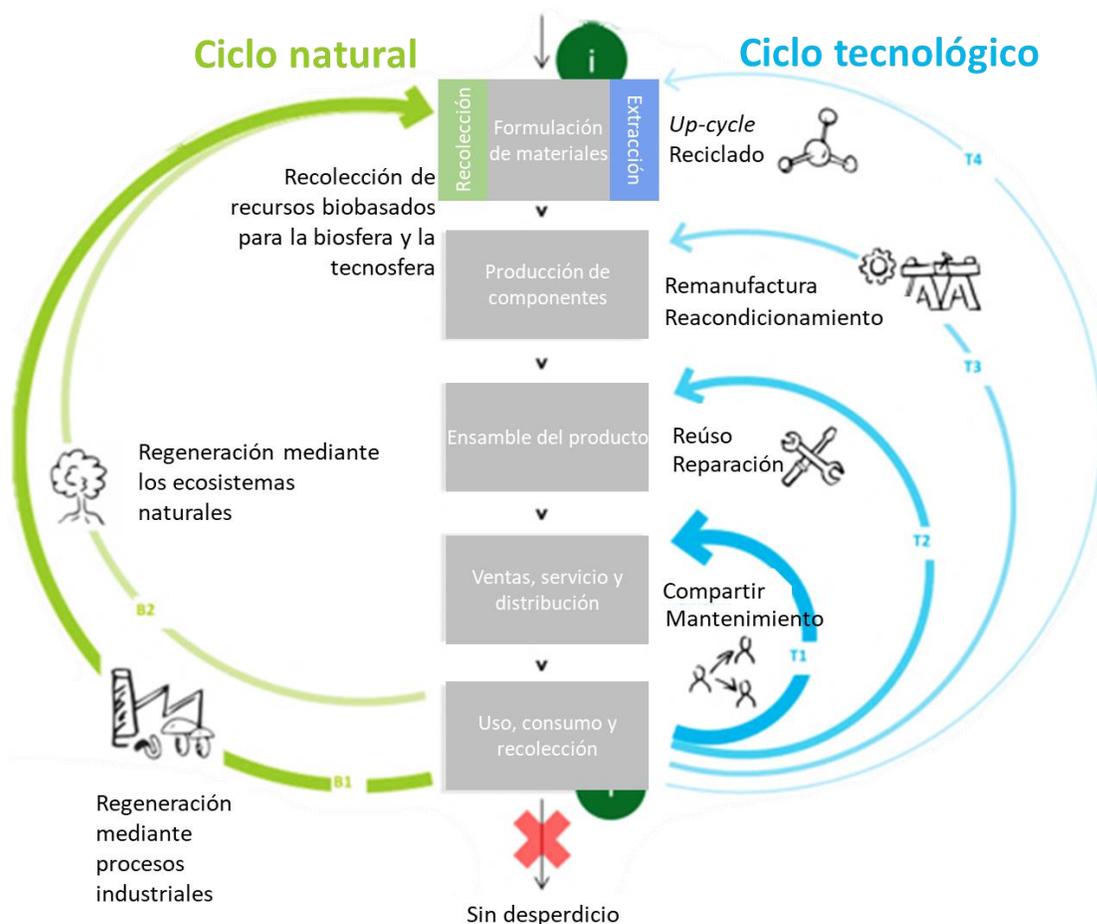
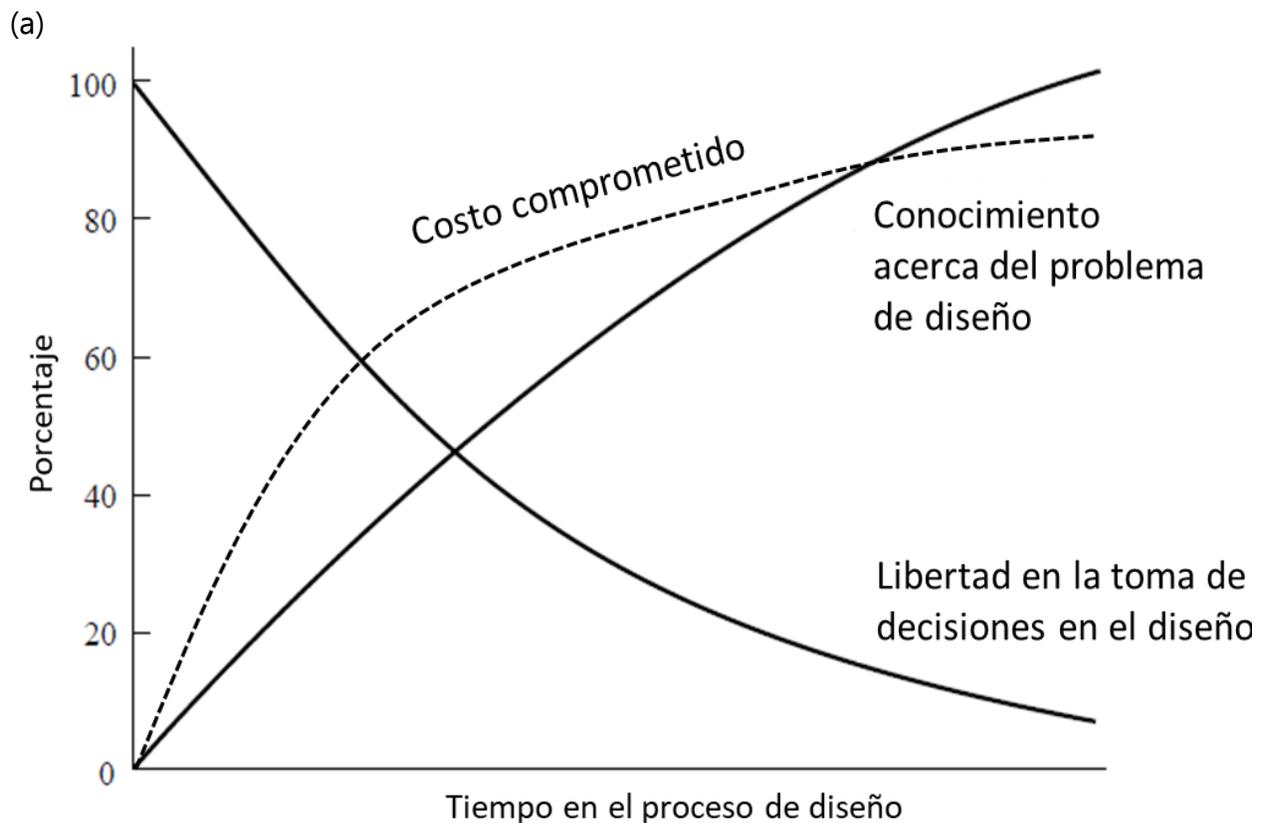


Figura 2.2 Los ciclos natural y tecnológico, así como sus distintas ramas e interacciones con el ciclo de vida del producto (EPEA, 2021).

La toma de decisiones que define la información que describe el producto sigue el comportamiento de la paradoja del diseño como se muestra en la fig. 2.3 a): entre más información posees, menos libertad se tiene para usar lo que aprendiste y mayor es el costo comprometido en la manufactura del producto (Ullman, 2010). Resalta su importancia en las etapas tempranas del proceso de diseño de productos, ya que como se muestra en la figura 2.3 b), es en este donde se establecen gran parte de los impactos ambientales potenciales del ciclo de vida del producto. De manera que, a lo largo del proceso se tiene mayor influencia en el costo, apariencia, calidad, impactos ambientales y sociales (Bhamra y Lofthouse, 2007) pero con mucha libertad en la toma de decisiones y poca información sobre el problema de diseño. Es por eso que las investigaciones favorecen las etapas tempranas, mientras que para lograr metas concretas y específicas se decantan por la etapa de diseño de detalle y manufactura (Faludi, 2017).



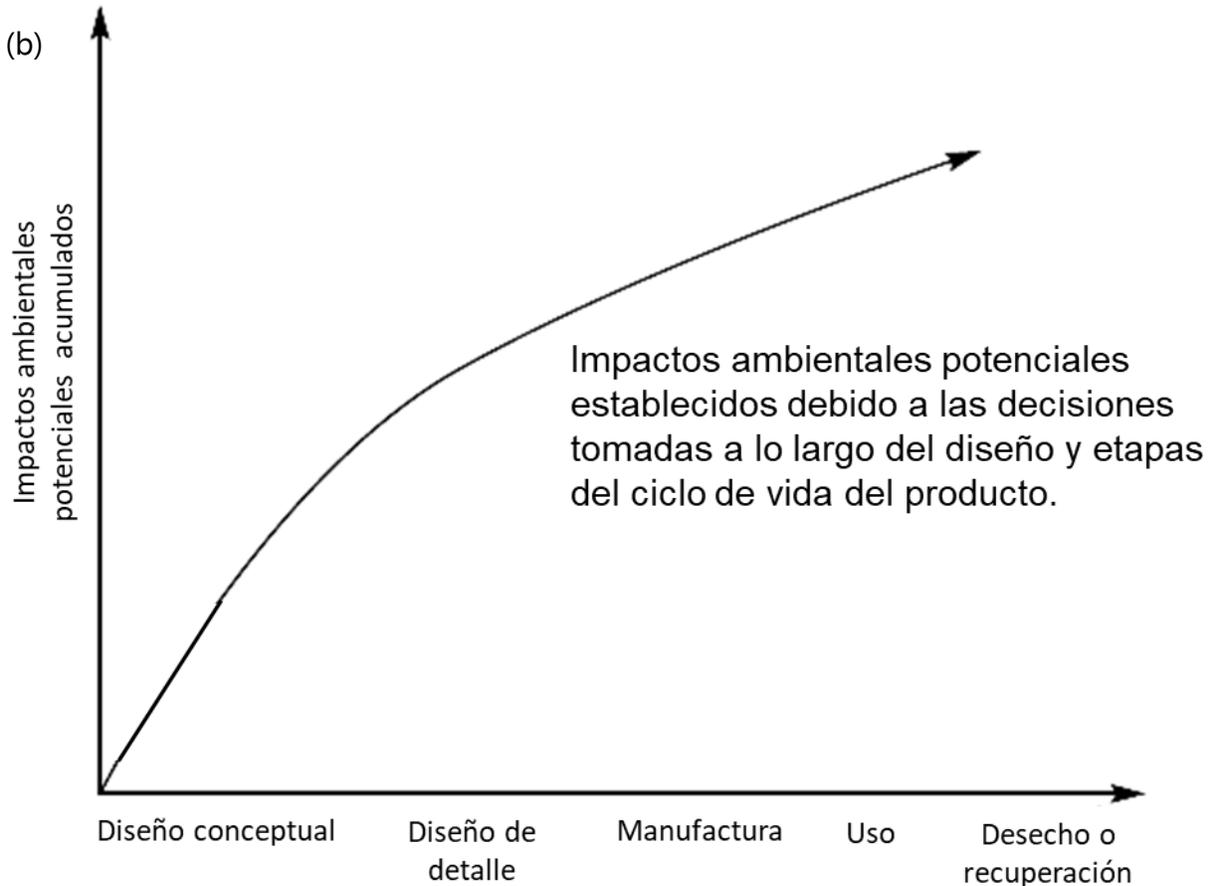


Figura 2.3 (a) Comportamiento de la libertad de diseño, costo comprometido del diseño y conocimiento sobre el problema de diseño a lo largo del proceso de diseño (Ullman, 2010). (b) Impactos ambientales potenciales establecidos a lo largo del proceso de diseño y etapas del ciclo de vida del producto (Lewis et al., 2017).

Para lograr implementar la sostenibilidad a gran escala, cambios de igual magnitud deben de realizarse mediante la innovación (Crul y Diehl, 2006). Esto puede observarse en los conceptos de *Cradle to Cradle* de eco-eficiencia y eco-efectividad (McDonough y Braungart, 2002). El primero se usa para definir las prácticas usuales de producción y consumo: la pérdida del valor y calidad en el reciclaje y las estrategias de reducción de emisiones y de uso de materia prima. En cambio, la eco-efectividad invita a los diseñadores a reciclar manteniendo el valor y la calidad, reusar y mantener la materia prima y bienes en el ciclo de vida del producto y finalmente a redefinir la manera en que hacemos y producimos. En la figura 2.4 (a) se muestra el impacto de ambas estrategias en el tiempo. Se observa que la eco-efectividad mejora en el tiempo, siendo la redefinición la de mayor impacto. Sin embargo, la ecoeficiencia reduce el impacto negativo, pero manteniendo el aspecto negativo al mínimo. Esto se contrasta con la figura 2.4 (b), que representa en su eje horizontal las variantes de diseño de un concepto, mientras que en el eje vertical indica la calidad o la percepción de buen diseño basado en la relación desempeño-costos. La curva de optimización de diseño se puede relacionar con el comportamiento de una

estrategia de eco-eficiencia, donde el concepto de diseño, mediante la optimización de ese concepto puede alcanzar un máximo de calidad, mientras que la elección y exploración de un concepto nuevo orientado hacia la eco-efectividad tiene el potencial de generar un máximo mayor mediante la optimización de éste nuevo concepto.

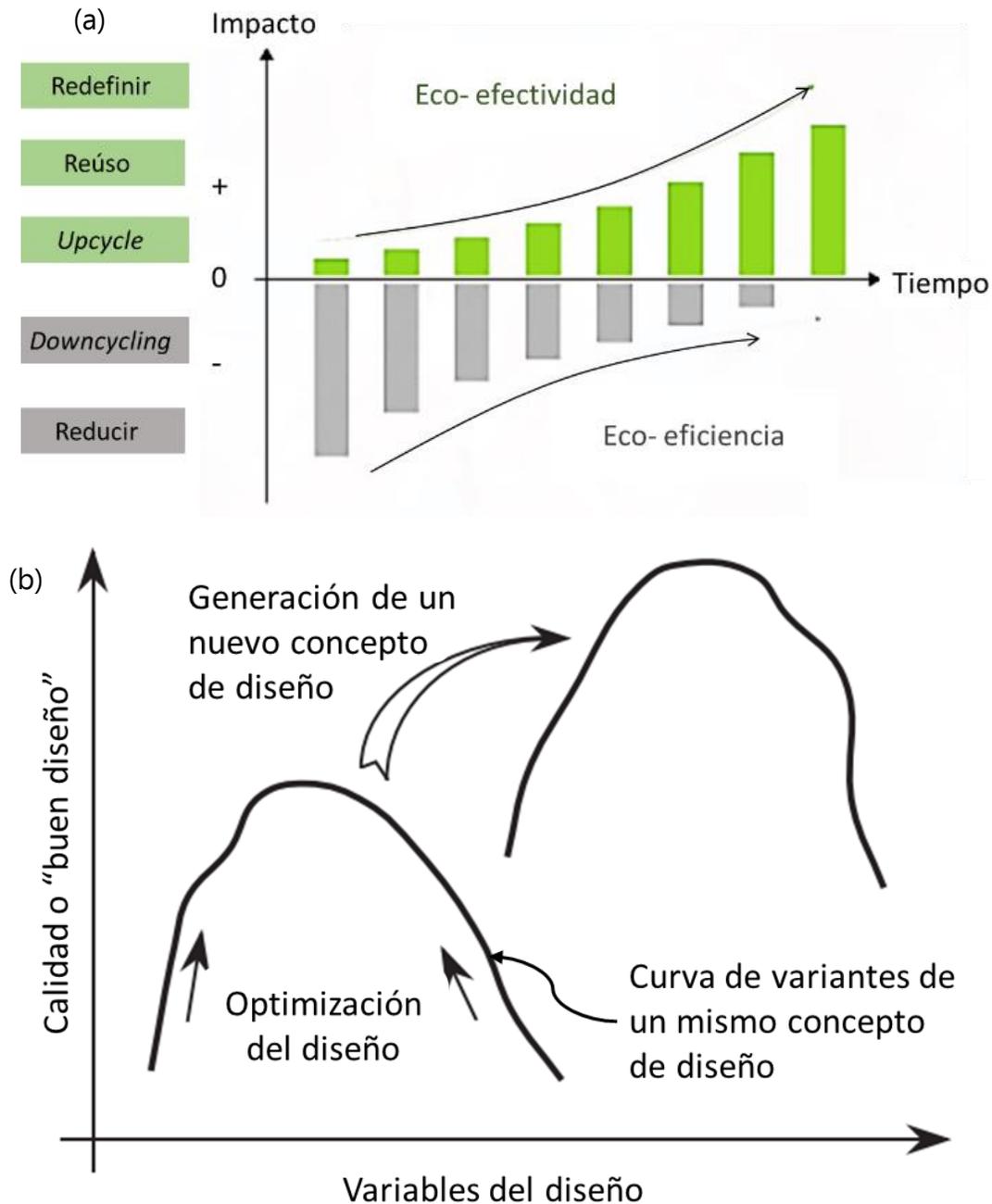


Figura 2.2 (a) Relación entre impacto y tiempo referente a estrategias de efectividad y eficiencia (EPEA, 2021) y (b) Relación entre calidad y variables del diseño (Kroll et al., 2001): Cada curva corresponde a un concepto distinto con sus variaciones.

La innovación radical, relacionada con la eco-efectividad, se ha convertido en una necesidad para las compañías, dado que la innovación incremental, una de las más usuales en el entorno industrial, y que a su vez se relaciona con estrategias de ecoeficiencia, es insuficiente. El continuar con la innovación incremental conlleva bajos retornos de inversión, escasez y alza de precios de recursos, además de la evolución de las necesidades del mercado y su creciente demanda por productos disruptivos en el ámbito ambiental y económico. Aunque de resultado predecible, sea un proceso estructurado y conlleve un bajo riesgo de implementación, la innovación incremental y la ecoeficiencia no nos llevarán al futuro sostenible que se necesita (UNEP y TUDelft, 2009).

Entre los retos al implementar la sostenibilidad en el diseño se encuentran:

- La adopción de la sostenibilidad en procesos de diseño implica enfrentarse a distintas concesiones y contingencias entre elementos cuya relación no es clara, como el social y ambiental con el financiero (Salzmann et al., 2005).
- Las soluciones pueden tener efectos secundarios debido a que los recursos liberados por estrategias sostenibles son usados para prácticas no sostenibles debido a sus consecuencias no anticipadas en otras áreas (von Geibler et al., 2019).
- Considerar la etapa de manufactura en el proceso de diseño implica la inclusión de métricas y métodos de evaluación para medir y cuantificar el impacto ambiental (Haapala et al., 2013).
- Incertidumbres y sus riesgos asociados, como el desempeño del producto o alguno de sus componentes en un escenario de reúso, son cuestiones a resolver por parte de los diseñadores (Ahmad et al., 2018).
- Las justificaciones para implementar la sostenibilidad en el sector industrial y mostrar sus ventajas sigue siendo una tarea pendiente (Faludi, 2017; Salzmann et al., 2005).
- Las actividades y estrategias para el diseño sostenible son imprácticas para la industria y los diseñadores (Faludi, 2017).
- La pasividad y el cambio incremental en temas económicos y la falta de una visión holística (Wilson y Bhamra, 2020).
- La naturaleza especializada del diseño sostenible requiere del aprendizaje de habilidades sostenibles especializadas, no solo tener presente el concepto mientras se realizan actividades tradicionales de diseño (Faludi, 2017).
- Otra cuestión por considerar es el proceso de diseño en sí, puesto que es una línea de investigación común en la academia, incluye su desarrollo y refinamiento. Sin embargo, sigue existiendo la discrepancia entre el desarrollo de procesos y su adopción por parte de los diseñadores (Schønheyder y Nordby, 2018).

2.2 Instrumentos de diseño sostenible

Existen distintos trabajos en la literatura donde aparece el término herramienta, englobando a distintos entes y términos que son usados para implementar la sostenibilidad en el proceso de diseño, sin embargo, aún carece de homologación el término entre autores. En el presente trabajo, se usará el termino instrumentos de diseño sostenible o simplemente instrumentos para englobar entes como marcos de trabajo, guías, reglas de dedo, herramientas software, tablas por mencionar algunos y términos que evalúan, describen y se proveen bases, proposiciones, conjuntos de reglas y modos de pensar para el diseño de productos sostenibles. Por otro lado, la palabra herramienta se usará para los entes que hayan sido creados con el propósito de ser usados en el proceso de diseño o a partir de herramientas que requieren de información para transformarla y apoyar a la toma de decisiones y/o realizar evaluaciones, como el despliegue de la función de calidad, los sistemas CAD, el análisis de ciclo de vida, entre otros.

Existen distintos tipos de instrumentos de diseño sostenible y de sostenibilidad en general, y distintos autores los han identificado y clasificado con el objetivo de facilitar su uso y comprender sus alcances. El trabajo de Faludi (2017) (fig. 2.5), clasifica a manera de recomendación, por dimensión de la sostenibilidad y por rol al que van dirigidas, siendo administrativo, ingeniero y diseñador. Toma en cuenta libros, marcos de trabajo, principios y manifiestos, procesos de diseño, herramientas de análisis de ciclo de vida, guías de diseño y certificaciones.

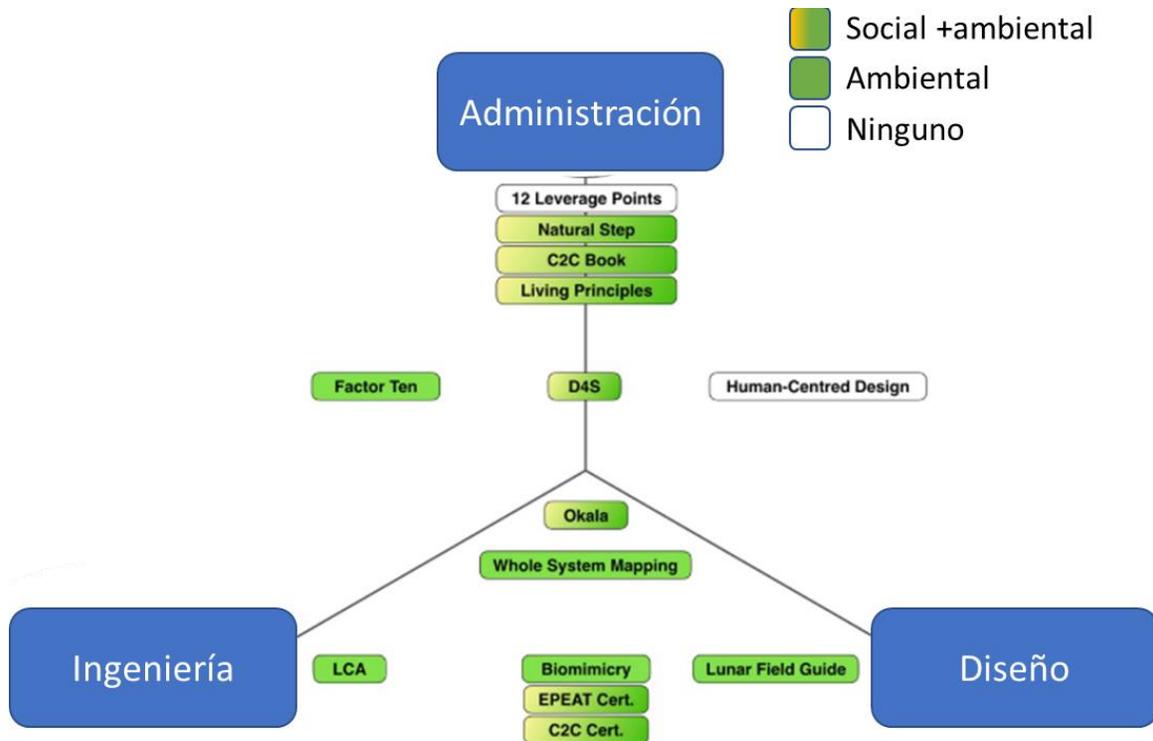


Figura 2.3 Sugerencias de uso de los instrumentos sostenibles según rol y dimensión de la sostenibilidad abordadas (Faludi, 2017). La figura refleja una clasificación propuesta para respaldar la hipótesis donde implica la existencia de ventajas para distintos roles dadas por los instrumentos. La clasificación por rol se debe al número de actividades de cada tipo, donde el área de ingeniería favorece las actividades de análisis, investigación, construcción, y metas en concreto; los diseñadores favorecen la ideación, la investigación, construcción, listas de verificación y metas concretas; finalmente, los administradores favorecen el establecimiento de metas, comunicación, metas abstractas y el pensamiento de sistemas. Respecto a los colores, el verde contempla el pilar ambiental, el verde degradado con naranja lo ambiental y lo social, mientras que el blanco no contempla ningún pilar de la sostenibilidad en las actividades correspondientes al rol donde fueron ubicadas.

Los instrumentos sostenibles con grandes traslapes en actividades y mentalidad usada pueden ser redundantes. La hipótesis del autor parte de que los instrumentos hechos para un rol en específico de ingeniería, diseño y administración serán favorecidos en el uso por ese rol específico. Sin embargo, se desmintió esta hipótesis, ya que se usan sin distinción, y queda como trabajo a futuro probar la efectividad de la división según el tipo de actividades, para apoyar en la inclusión de la sostenibilidad en el proceso de diseño.

Por otro lado, el centro de diseño sostenible de la AIGA, Brink et al. (2009) desarrollaron una serie de principios llamados "The Living Principles". Para su desarrollo se consultaron distintos tipos de principios, manifiestos, estrategias y herramientas sostenibles de distintas índoles. En la figura 2.6 se muestran la taxonomía desarrollada y los instrumentos que se usaron para su creación, los pilares de la sostenibilidad que contemplan, y su ubicación dentro de un gráfico donde el eje de las abscisas va de aspiracional a accionable, y en las ordenadas va de selectivos a integrados.

El trabajo de Brink et al. (2009) concluye que varios de los instrumentos se enfocan en aspectos ambientales; aunque varias de ellas tienen como base un enfoque de sistemas como el análisis de ciclo de vida, suelen no ser relevantes para los diseñadores más allá de la incidencia en las cuestiones ambientales y sociales. Y es que en comparación con la dimensión ambiental y económica, es más complicado incluir y medir la dimensión social, por lo tanto, recibe menor atención que las demás dimensiones, viéndose reflejado en la menor cantidad de instrumentos (Ahmad et al., 2018).

Existe una gran variedad de recursos e instrumentos sostenibles, pero se encuentran esparcidos y no cumplen con mantener a los diseñadores cautivos para cambiar sus prácticas en el diseño, además de que estos recursos e instrumentos se encuentran fragmentados, es decir, carecen de información sobre su impacto en tendencias y hábitos. Debido a esto, los instrumentos que pueden ser útiles no son usadas de manera generalizada ni adoptados por los diseñadores (Brink et al., 2009).

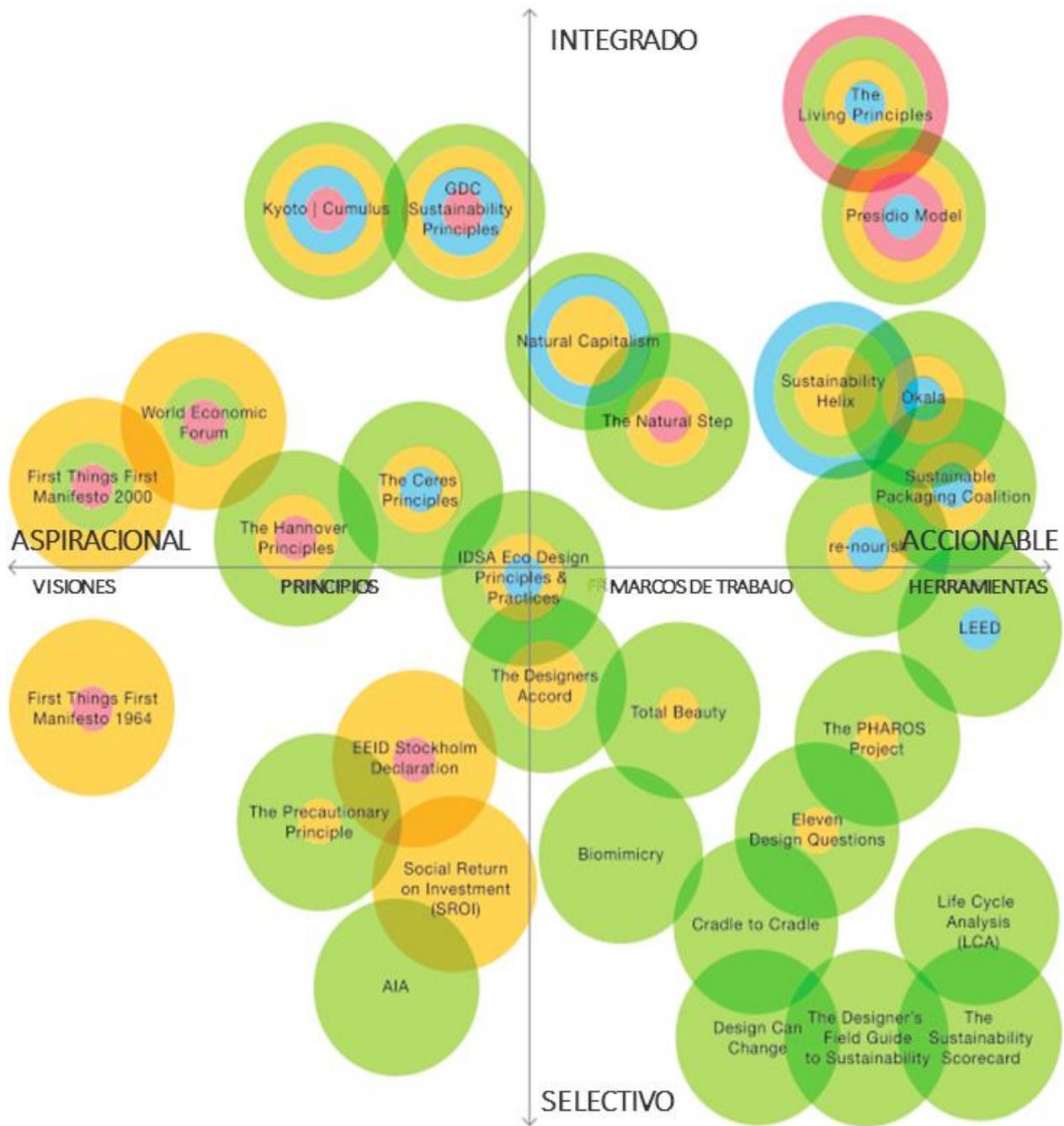


Figura 2.4 Taxonomía de los Living Principles (Brink et al., 2009). Ubican dentro de un gráfico de izquierda a derecha: instrumentos aspiracionales, a instrumentos accionables; en el intermedio se encuentran las visiones, los principios, seguido de los marcos de trabajo y finalmente las herramientas en un sentido accionable sobre el proceso de diseño. De abajo a arriba: de enfoques selectivos a enfoques integrados. Los colores corresponden a las dimensiones de la sostenibilidad contempladas por cada uno de los instrumentos, pero contemplando a la cultura como un cuarto pilar: el verde al ambiental; el azul al económico; el naranja al social; y el violeta al cultural.

2.3 Trabajos previos

En este apartado se presentan cuatro trabajos representativos del desarrollo de instrumentos para la sostenibilidad y el diseño sostenible. Estas se eligieron por su relación con el desarrollo de listas de verificación para el diseño sostenible y su relevancia a partir del número de citas.

Ecodesign checklist (Boeijen et al., 2010; Brezet y van Hemel, 1997).

Lista de verificación para el ecodiseño desarrollada en la universidad Delft. Ésta lista está pensada para su uso en las etapas de diseño conceptual, para complementar la parte ambiental durante la generación de conceptos, o para evaluar productos existentes. De la misma manera, está hecha para tener presentes los impactos ambientales ocasionados por el producto a diseñar. La lista se compone de múltiples preguntas, divididas en 6 grupos como se muestra en la figura 2.7. El primero, análisis de la necesidad, se cuestiona a los diseñadores sobre la efectividad y eficiencia del producto a diseñar, así como la manera en que se cubre ésta necesidad y su evolución en el tiempo. Los 5 grupos restantes corresponden a las siguientes etapas del ciclo de vida del producto: producción y suministro de materiales y componentes, producción interna, distribución, uso, y recuperación y desecho.

Además, en cada uno de los grupos, se encuentran estrategias generales de diseño para los problemas ambientales abordados por las preguntas. En total se mencionan 8 estrategias de diseño: 1) desarrollo de nuevos conceptos, 2) selección de materiales de bajo impacto ambiental, 3) reducción de uso de materiales, 4) optimización de técnicas de producción, 5) optimización del sistema de distribución, 6) reducción del impacto ambiental en la etapa de uso, 7) optimización del inicio de vida y 8) optimización del sistema de fin de vida.

Life cycle stage 1: Production and supply of materials and components	
What problems arise in the production and supply of materials and components? <ul style="list-style-type: none">• How much, and what types of plastic and rubber are used?• How much, and what types of additives are used?• How much, and what types of metals are used?• How much, and what other types of materials (glass, ceramics, etc.) are used?• How much, and which type of surface treatment is used?• What is the environmental profile of the components?• How much energy is required to transport the components and materials?	EcoDesign Strategy 1: Selection of low-impact materials <ul style="list-style-type: none">• Clean materials• Renewable materials• Low energy content materials• Recycled materials• Recyclable materials EcoDesign Strategy 2: Reduction of material usage <ul style="list-style-type: none">• Reduction in weight• Reduction in (transport) volume

Figura 2.5 Extracto de la lista verificación para el ecodiseño donde se muestra el primer grupo correspondiente a la etapa del ciclo de vida del producto (Boeijen et al., 2010; Brezet y van Hemel, 1997). En la columna de la izquierda se encuentran las preguntas aplicables a la etapa del ciclo de vida del producto, mientras que en la columna de la derecha se encuentran las estrategias aplicables, desglosadas en temáticas generales.

A los usuarios de la lista se les pide que respondan en su totalidad, si es posible, las preguntas de la columna derecha, para posteriormente con el apoyo de la columna derecha, se detallen las mejoras a implementar en el diseño del producto y así resolver las problemáticas ambientales identificadas. Al ser un instrumento pensado para las etapas iniciales del proceso de diseño tiene un enfoque cualitativo, por lo que los autores recomiendan complementarlo con el *ecodesign strategy wheel* y la *MET matrix*. La primera es un gráfico radial donde se encuentran las estrategias mostradas en la lista de verificación, de manera que facilita la visualización de áreas donde se requiera mejorar; mientras que la segunda es una matriz que relaciona tres etapas del ciclo de vida (producción, uso y transporte) para identificar en tres aspectos (materiales, energía y toxicidad) las necesidades y emisiones correspondientes.

Ecodesign web (Bhamra y Lofthouse, 2007; Lofthouse, 2011).

Mediante un diagrama radial, la red de ecodiseño busca ayudar de manera fácil y sencilla a evaluar cuantitativamente 7 áreas consideradas de importancia mediante un gráfico radial (ver fig. 2.8): nuevas maneras de resolver el problema, selección de materiales, uso de materiales, distribución, uso del producto, vida óptima y fin de vida. Usa un sistema de comparación mejor que/peor que entre esas áreas para identificar las oportunidades de mejora a partir del criterio del diseñador mediante comparaciones entre ideas y productos. Consta de una escala de 5 niveles, de muy malo a muy bien. Este instrumento se puede usar en las etapas iniciales del proceso de diseño para evaluar el desempeño ambiental de productos o para evaluar ideas durante la etapa conceptual.

De su aplicación se concluye que el formato de ciclo de vida no fue la mejor manera de presentar la información, dado que el enfoque permite pensar en problemas fuera del campo de incidencia del diseñador, y suele omitir ciertos temas sociales relevantes. Sin embargo, cada proyecto involucra temas sociales distintos, por lo que el *Ecodesign web* considera suficientes temas ambientales relevantes, pero se recomienda recurrir a otros instrumentos para considerar el pilar social.

ECODESIGN WEB

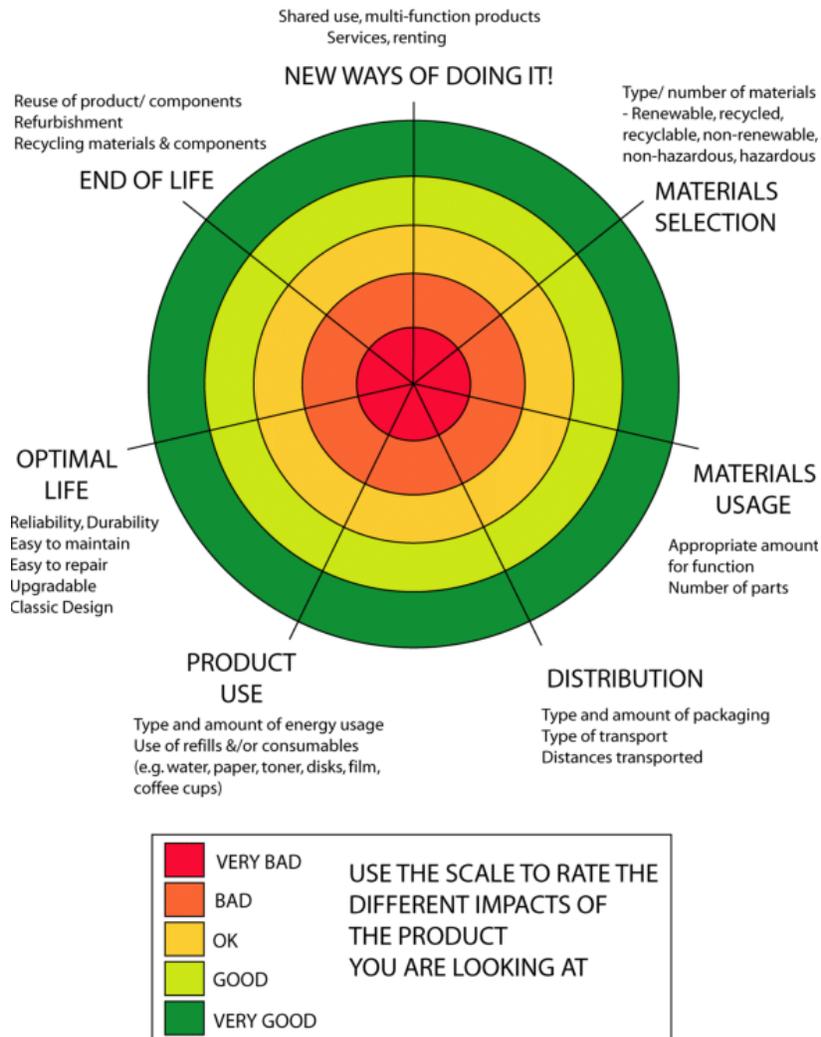


Figura 2.6 Plantilla del Ecodesign web (Bhamra y Lofthouse, 2007; Lofthouse, 2011). A partir del criterio del diseñador, se evalúan cada una de las 7 áreas de importancia para el ecodiseño colocando un punto según corresponda en la escala de 5 niveles. Luego, se unen los puntos para formar una figura e identificar las áreas de mejora a partir de la comparación con otras ideas o productos.

Lista de verificación para el desarrollo sostenible de un producto desarrollado en la industria automovilística (Schöggel et al., 2017).

Para integrar la sostenibilidad en las etapas tempranas del proceso de diseño (en la identificación de necesidades y en el diseño conceptual), Schöggel et al. (2017) desarrollaron una lista de verificación para la industria automotriz. Esta lista busca promover el uso de procesos de diseño y desarrollo de productos sostenibles, mediante el diálogo entre el equipo de diseño y el departamento de sostenibilidad para la mejora en el aspecto sostenible de conceptos, partes y productos. La lista puede ser usada para definir los temas a tratar durante las reuniones entre equipos, además, provee una base

metodológica para implementar la sostenibilidad en el proceso de diseño de manera iterativa, donde ciertas tareas son definidas y deben ser completadas por los diseñadores. A pesar de tener un enfoque cualitativo, busca permitir la evaluación y comparación de aspectos sostenibles, identificar oportunidades, reconocer beneficios y facilitar el intercambio de información.

La estructura de la lista se observa en la fig. 2.9, el marco de trabajo de Robèrt (2000) y sus 4 principios sostenibles son la base estratégica, donde las 9 categorías provienen de una revisión de literatura para identificar temas críticos y de complementar regulaciones, estándares y guías del sector automotriz: 1) eficiencia de los recursos, 2) eficiencia en el consumo de recursos, 3) uso de materiales de bajo impacto, 4) optimización de la etapa de fin de vida, 5) aspectos de salud y seguridad, 6) transporte y logística, 7) aspectos socioéticos, 8) disminución de la contaminación ambiental, 9) eficiencia económica y rentabilidad. De estas 9 categorías se desglosan 35 subcategorías que atienden a temas específicos, de manera que facilite su implementación.

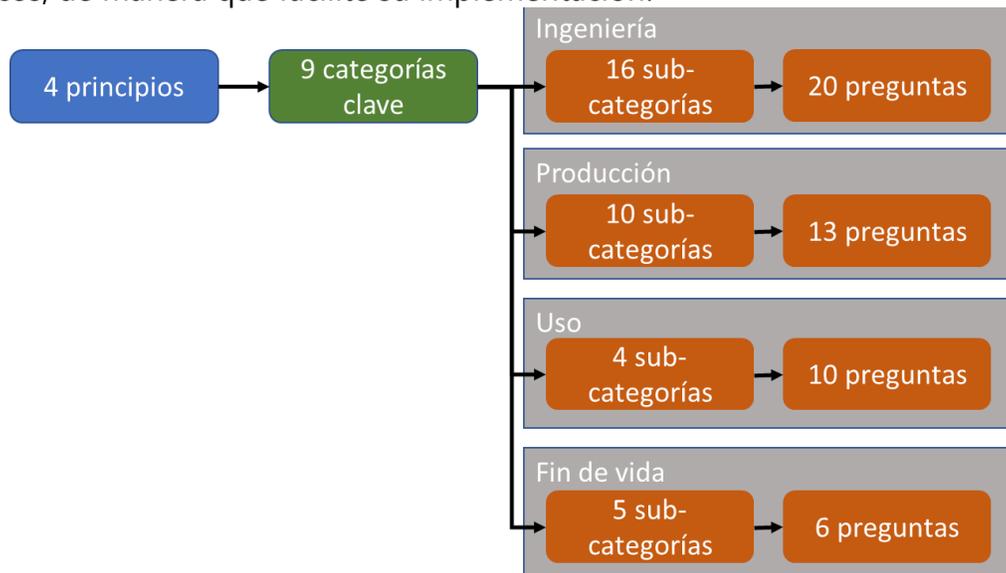


Figura 2.7 Estructura de la lista de verificación desarrollada por Schöggel et al. (2017). Se compone de preguntas ordenadas en cuatro etapas del análisis de ciclo de vida: ingeniería, producción, uso y fin de vida; las preguntas se desarrollaron a partir de 35 subcategorías que contemplan los temas considerados críticos a partir de la revisión de literatura.

De las 35 subcategorías, se desarrollaron 49 preguntas que hacen referencia a todos los aspectos sostenibles identificados en las subcategorías. Estas preguntas tienen una estructura de SÍ/NO de manera que sean sencillas, ya que permiten visualizar el escenario futuro, donde todas las preguntas sean contestadas con un sí. Incluyen preguntas con un enfoque específico, tal que de ser necesario sean adaptadas al problema de diseño donde la lista de verificación es aplicada. El procedimiento para aplicar la lista de verificación es iterativo tal como se muestra en la figura 2.10.

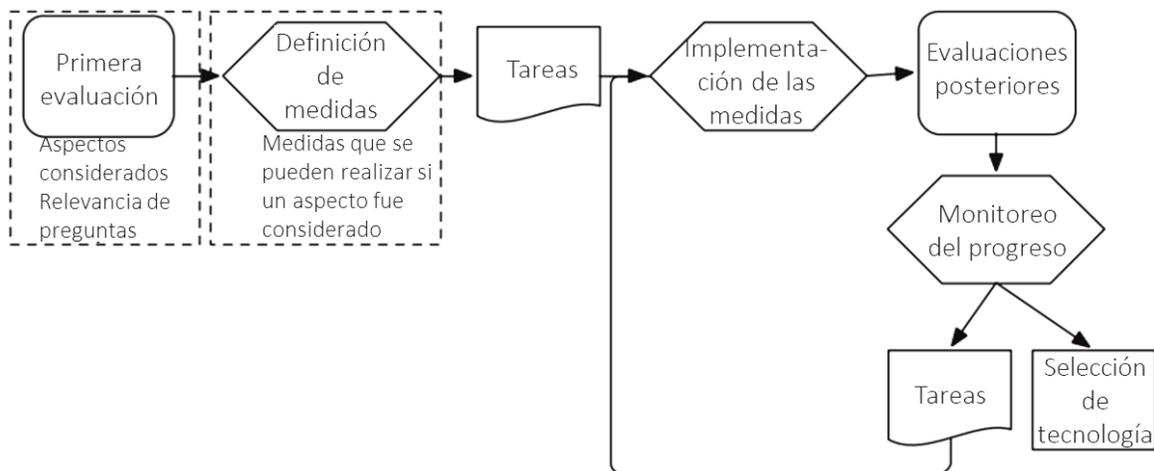


Figura 2.8 Proceso iterativo de la aplicación de la lista de verificación para el desarrollo de productos sostenibles (Schöggli et al., 2017). En la primera evaluación se definen los aspectos considerados en las 49 preguntas, y se evalúa la relevancia de cada una de las preguntas en una reunión entre el equipo de diseño y el departamento de sostenibilidad. Posteriormente, se definen medidas para considerar en el proceso de diseño los aspectos sostenibles de las preguntas. Al finalizar estas etapas, se generan dos documentos: uno es la lista de tareas y el otro la hoja de evaluación. La primera contiene el resumen de las tareas a realizar para contemplar todos los aspectos sostenibles de la lista; la segunda, contiene mediante escala de colores, de rojo a verde, y porcentajes los aspectos no considerados según su etapa de ciclo de vida correspondiente. Posteriormente, se implementan las medidas a partir de los departamentos involucrados y en reuniones futuras se monitorea el progreso, de manera que se definen tareas para lograr el objetivo, o de ser necesario, elegir una nueva tecnología.

Una de las características de la lista de verificación de Schöggli et al. (2017) es la necesidad de incluir a al menos un experto en sostenibilidad y a un investigador relacionado con el desarrollo de la lista de verificación en las reuniones, ya que permite maximizar resultados positivos al proveer de contexto a los participantes, aclarar sus dudas respecto al uso de la lista de verificación, explicar su propósito, la forma de uso y dar una introducción general a la sostenibilidad en el contexto del problema de diseño. Su uso promedio es de dos horas por componente, y hasta tres horas para un auto completo, aunque el tiempo de la realización de las tareas no fue considerado. Aún requiere de estudios para medir el nivel de conciencia que los diseñadores adquieren en temas sostenibles. Finalmente, concluyen que cumple con el propósito de estimular la colaboración y el intercambio de información entre departamentos y organizaciones para el diseño sostenible, es posible adaptarlo a distintos problemas de diseño fuera del entorno automotriz.

Lista de verificación para la integración de los ODS en un proyecto de innovación (von Geibler et al., 2019).

La lista de verificación se enfoca en las etapas previas e iniciales del proceso de desarrollo de productos, conocida como la *front-end*, donde se identifican los efectos potenciales de un producto o sistema haciendo uso de los 17 ODS. Específicamente, busca brindar apoyo en 2 puntos decisivos: la estimación y la aprobación del proyecto. En estos se busca brindar apoyo respecto al establecimiento de metas y la identificación de los efectos

sostenibles al generar conciencia sobre los ODS y los temas que abordan. Busca identificar riesgos y oportunidades en las etapas iniciales del proceso de desarrollo de productos y sistemas, tal que permita brindar una orientación hacia y una visión común de la sostenibilidad, e inspirar procesos de ideación y modelos de negocios. Sin embargo, no permite la evaluación de temas específicos, ya que, al centrarse en las etapas iniciales de un proceso de innovación, los instrumentos suelen ser simples y de apoyo para generar conciencia, orientación e identificación de efectos debido a la falta de información sobre el proyecto. Está dirigida a equipos de innovación multidisciplinarios, compuestos de ingenieros, diseñadores, expertos y no expertos en sostenibilidad.

La lista de verificación de los ODS en línea está compuesta de dos niveles de detalle, y una escala de -3 a 3 incluyendo el cero, de riesgo severo a alta oportunidad. El primer nivel se enfoca en los 17 ODS, donde el proyecto evaluado debe de tener una relación positiva con al menos 3 objetivos (ver fig. 2.11 a); posteriormente durante el proceso de innovación, se eligen 3 metas con alta calificación en oportunidades y 3 metas con alto riesgo para mantener la usabilidad, donde se evalúan con la escala de 7 elementos a las metas de los ODS (ver fig. 2.11 b).

a)

INNOLAB SDG-Check Step 1
Please estimate whether your innovation idea creates opportunities or risks concerning the 17 SDGs. The innovation should be able to create a positive contribution to at least 3 goals.

risk neutral opportunity
-3 -2 -1 0 1 2 3

<p>1 NO POVERTY End poverty. E.g. specific finance service for developing countries</p> 	<p>7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all</p> 	<p>13 CLIMATE ACTION Take urgent action to combat climate change and its impacts</p> 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

b)

INNOLAB SDG-Check Step 2
Please estimate whether your innovation idea creates opportunities or risks concerning the sub-goals of the SDG 12.

risk neutral opportunity
-3 -2 -1 0 1 2 3

<p>12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION</p> 	<p>The innovation contributes to sustainable management and efficient use of natural resources.</p>
<input type="checkbox"/>	

Figura 2.9 Componentes de la lista de verificación de los ODS (Geibler et al., 2016; von Geibler et al., 2019). a) Extracto de la primera etapa de la lista de verificación, donde se encuentran los 17 ODS para ser evaluados a partir de la escala de 7 elementos, de -3 a 3, de mayor riesgo a mayor oportunidad. b) Extracto de la segunda parte de la lista de verificación, aquí se encuentran todas las metas del ODS a evaluar mediante la misma escala de 7 elementos.

El uso de la lista de verificación de los ODS sigue el criterio de la norma ISO 9241-210, donde los resultados son comparables y transparentes, intuitivos y entendibles; así mismo, el conocimiento sostenible no es requerido en los participantes y debe tener un tiempo de aplicación menor a 20 minutos. Esta lista fue puesta a prueba en 3 proyectos: de hogar, ventas al detalle y movilidad, a partir de la evaluación por parte de cada uno de los

participantes. Mediante el cálculo del promedio de las listas de verificación, se identificaron los objetivos y las metas de mayor relevancia para el proyecto. Se concluye que los ODS ayudan a lidiar con la complejidad y la ambigüedad que implica incluir la sostenibilidad en el proceso de desarrollo. Los ODS brindan el apoyo ya que son respaldados por un consenso general y una alta legitimidad, por lo que generan confianza y seguridad a lo largo del proceso. Respecto a la lista, se comprueba que es eficiente en costos, brinda apoyo en temas sociales y ambientales, y es de fácil aplicación. Promueve el dialogo sobre sostenibilidad entre miembros del equipo y con expertos y no expertos sobre el tema. Sin embargo, sin una introducción adecuada, los ODS pueden ser elementos abstractos y sin estructura, teniendo como efectos negativos la desmotivación para abordar el tema de la sostenibilidad y tomar las decisiones adecuadas para el diseño del producto

Los ODS, compuestos por 17 objetivos y 169 metas, pueden desmotivar y ser una sobrecarga de información dependiendo del conocimiento que se tenga sobre estos. Sin embargo, permiten ser combinados con distintos tipos de instrumentos para lograr mejores resultados en el proceso de diseño y desarrollo de productos. La lista de verificación permite evaluar de manera cualitativa y comparar distintas alternativas en etapas tempranas, pero se muestra insuficiente para realizar análisis sostenibles a detalle. La identificación de ODS relevantes está sustentada en la subjetividad de los participantes, por lo que resulta aplicable para el seguimiento interno, aunque requiere de evaluación por parte de grupos de expertos. Para su mejora desde el punto de vista administrativo y mejorar su integración con distintos métodos de diseño e instrumentos, identificaron que requiere la inclusión de elementos de innovación holística y cultura del diseño, como el diseño centrado en el usuario y el *design thinking*.

3. Planteamiento del problema

3.1 Definición del problema

En el corazón de la actividad industrial, se encuentra el diseño y desarrollo de productos, debido a que influye en el éxito económico al satisfacer de manera rápida las necesidades de sus clientes a un bajo costo. Es durante el proceso que sus participantes (ver fig. 3.1), los diseñadores, mediante el hallazgo de un reto de diseño, determinan las características del producto que describirán su forma, función y a su vez, características de su ciclo de vida, incluyendo costos asociados e impactos sostenibles, mediante el hallazgo de un reto de diseño (Cross, 2008; Pahl et al., 2007; Ullman, 2010; Ulrich y Eppinger, 2013).

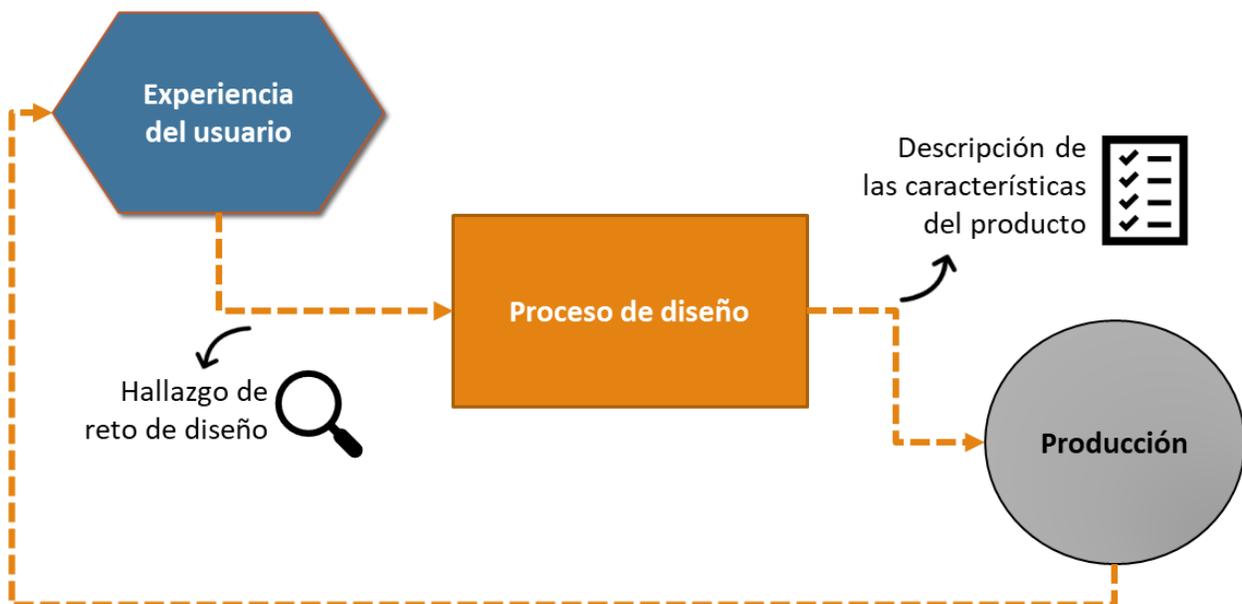


Figura 3.1 Relación entre diseño, producción y experiencia del usuario (Ulrich, 2011)

Debido a esto, el diseño se posiciona como un catalizador hacia una realidad sostenible, y dicho en palabras de Tracy Bhamra (2020): no es el principal responsable de resolver todos los problemas de la crisis ambiental y social que estamos viviendo, pero sin duda, tiene un papel muy relevante, y aunque existen distintos esfuerzos para alcanzar la meta, aún no hemos logrado el nivel de cambio necesario para lograrlo.

Orientados hacia éste cambio, se han desarrollado distintas metodologías de diseño sostenible, y muchos más instrumentos enfocados a incluir la sostenibilidad en el proceso de diseño, sin embargo, aún no se han vuelto parte de la práctica cotidiana. El reto que implica incluir temas sociales y ambientales al contexto del problema y en el proceso, logrando su equilibrio, así como la disponibilidad de instrumentos de fácil uso y alta efectividad se identifican como los obstáculos de los participantes en el proceso de diseño de productos (Faludi, 2017; Rocha et al., 2019; Schöggli et al., 2017).

El diseñador no suele mantener registro de las decisiones tomadas respecto a la sostenibilidad de la misma manera que las decisiones tradicionales de diseño, incluso, suele ignorar las implicaciones de éstas (Buhl et al., 2019). Además, son orillados a navegar entre principios generales, guías de diseño para X, y/o listas de verificación desarrolladas para productos específicos para crear su propia versión de diseño para el medio ambiente. No existe un conjunto de guías consolidadas para ser usadas por el diseñador de productos independientemente del contexto del problema de diseño (Telenko et al., 2016). Tomando en cuenta lo anterior, surgen las siguientes preguntas que guiarán el presente trabajo: ¿cuáles son esos instrumentos que proporcionan al producto de características sostenibles? ¿en qué parte del proceso de diseño son usados? ¿cuáles son sus características? ¿cómo facilitar su integración en el proceso de diseño?

El enfoque que se le dará a la investigación se delimitará al diseño de productos, definidos como "artefactos o servicios vendidos por la industria que serán suministrados de manera repetida" (Crawford y Di Benedetto, 2015; Ulrich, 2011; Ulrich y Eppinger, 2013), de manera que no se considerarán instrumentos y enfoques para edificaciones, procesos químicos ni termodinámicos debido a la perspectiva de diseño distinta que maneja cada uno. El enfoque hacia instrumentos y no métodos se debe a que estos últimos se adaptan a las condiciones del problema de diseño mediante el uso de instrumentos que se adapten a condiciones como las habilidades de los diseñadores, costos, tiempo de desarrollo y cultura organizacional (Faludi, 2017; Schønheyder y Nordby, 2018).

3.2 Justificación

El presente trabajo se realizó con la meta de identificar y desarrollar recomendaciones y un instrumento para integrar la sostenibilidad al proceso de diseño, ya que usualmente, "su relación suele no ser muy clara, incluso inexistente para los diseñadores" (Rocha et al., 2019), además de la gran cantidad de instrumentos disponibles en la literatura pero con términos no homologados y que suelen ser confusos para sus usuarios (Ahmad et al., 2018). Estos instrumentos deben ser lo suficiente flexibles y sencillas para que los diseñadores se puedan apropiar de ellas, además de reducir el tiempo de adopción para facilitar su implementación y eventualmente evolucionarlas, considerando que los diseñadores aún prefieren usar métodos de diseño tradicionales en vez de considerar los enfoques sostenibles, no solo como guías de actividades, sino como cajas de herramientas (Faludi y Agogino, 2018; Schønheyder y Nordby, 2018). La necesidad de promover el desarrollo y la integración de instrumentos sostenibles al proceso de diseño concuerda con lo mencionado anteriormente, ya que mejora su eficiencia en el uso de tiempo y recursos, además de promover un entorno propicio para la innovación, entre otros beneficios incluyendo económicos, que a su vez motiva a la industria y a los desarrolladores de productos a adoptarlas (Cross, 2008; Faludi, 2017; Melander, 2020).

3.3 Objetivo

Caracterizar los distintos instrumentos sostenibles aplicables al proceso de diseño, mediante su clasificación a partir de su principio de funcionamiento, el tipo de información que usan y proveen; para desarrollar instrumentos auxiliares que integren la sostenibilidad en el proceso de diseño de productos a escala industrial.

3.4 Alcances

Los alcances de esta tesis son:

- Revisión de libros, artículos y bases de datos relacionadas al diseño sostenible.
- Recopilación de instrumentos con aplicabilidad al proceso de diseño de productos.
- Análisis y clasificación de los instrumentos encontrados.
- Desarrollo de un instrumento que dé a conocer e integre al proceso de diseño temas de sostenibilidad.

3.5 Proceso de trabajo

El proceso que se siguió en la realización del presente trabajo se muestra en la figura 3.2. Algunas actividades, como la recopilación y la revisión de la literatura se realizaron de manera constante para la actualización del trabajo.

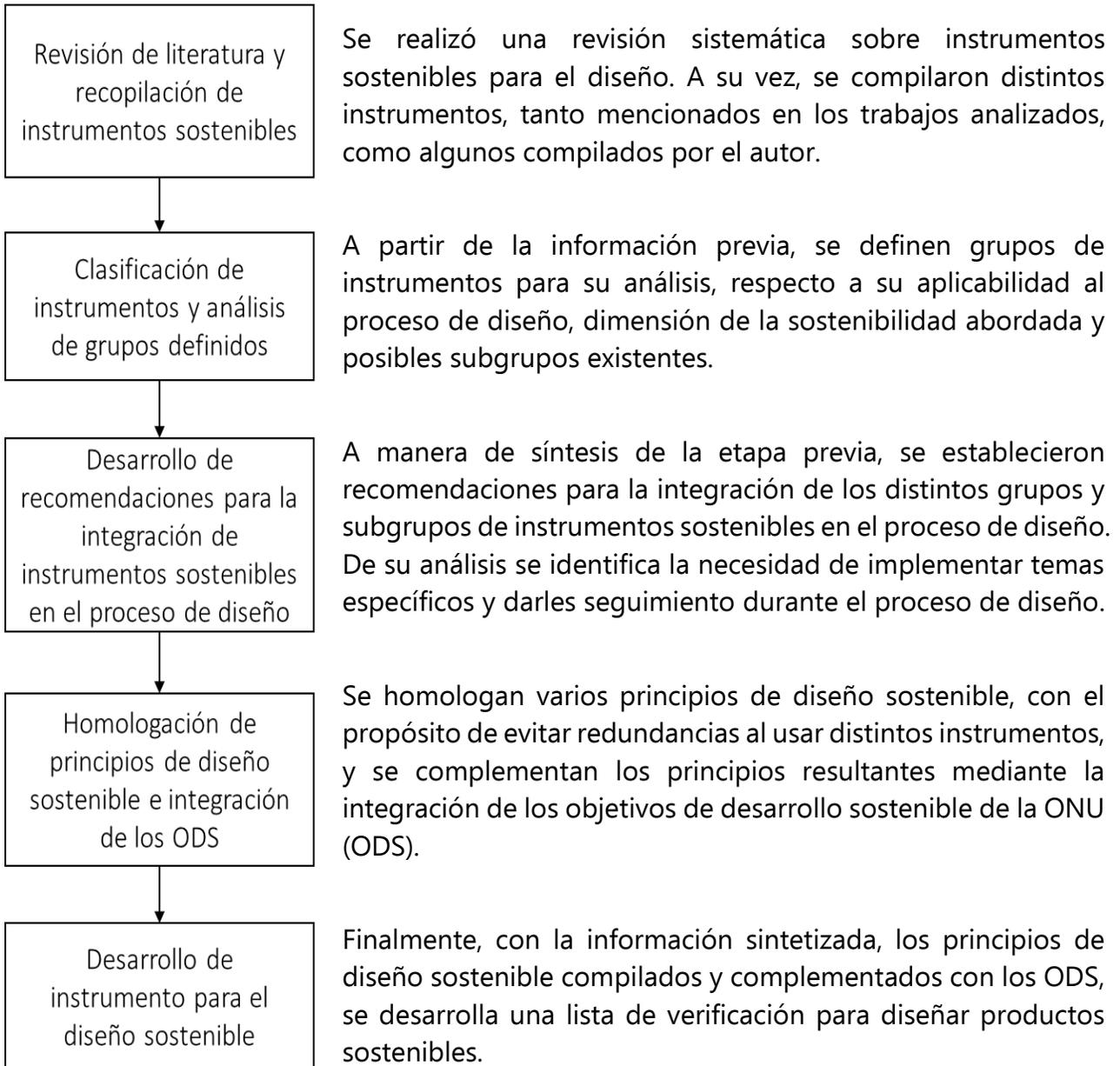


Figura 3.2 Proceso de trabajo

4. Desarrollo

4.1 Revisión de literatura y recopilación de instrumentos

Para conocer los instrumentos encargados de proporcionar al producto sus características sostenibles, se realizó una búsqueda de trabajos que clasificaron distintos tipos de instrumentos aplicables al proceso de diseño de productos basada en el método bola de nieve. En la búsqueda se utilizaron términos como "sustainable product tools", "design for sustainability", "sustainable product development", "design for environment", "ecodesign" y "green design". La inclusión de distintos términos se debe a la falta de homologación de conceptos y términos relacionados con la sostenibilidad (Ahmad et al., 2018). De la revisión de literatura y citas subsecuentes en los trabajos revisados, se ubicaron distintos artículos de los cuales se seleccionaron y analizaron 10 que cumplen con un enfoque en el diseño de productos industriales. A estos 10 artículos se les extrajo la siguiente información (ver cuadro 4.1):

- el criterio de selección de instrumentos, que incluye las delimitaciones temporales, disponibilidad, popularidad, sector analizado, incluidas en el estado de la técnica y/o métodos de búsqueda de información;
- el tipo de investigación, según el tipo de información recopilada, ya sea cualitativa o cuantitativa, y según el tipo de trabajo desarrollado que incluyen compilaciones, revisiones sistemáticas, estudios comparativos;
- el tipo de instrumentos recopilados para realizar sus agrupaciones;
- las notas sobre las aportaciones que presentan, ya sea el desarrollo de algún instrumento, recomendaciones o conclusiones, así como los grupos de instrumentos identificados o definidos para su clasificación.

Cuadro 4.1 Artículos recopilados para la revisión de literatura. El orden de los trabajos analizados es aleatorio.

Ref.	Título	Año	Criterio de selección	Instrumentos recopilados	Tipo de investigación	Grupos definidos/ conclusiones
(Morbidoni et al., 2011)	CAD-Integrated LCA Tool: Comparison with dedicated LCA Software and Guidelines for the Improvement	2011	Instrumentos considerados como referentes en el medio debido a que representan un avanzado estado de la técnica en la tecnología de evaluación de la sostenibilidad.	Herramientas de análisis de ciclo de vida simplificado y una interfaz desarrollada para la implementación del CAD en el proceso de evaluación.	Mixto/ comparativa	Uso del término análisis de ciclo de vida simplificado para referirse a las herramientas de diseño con estructura de análisis de ciclo de vida. Recomendaciones para la mejora en el uso de estos instrumentos. Propuesta de marco de trabajo para la integración de sistemas CAD y el análisis de ciclo de vida.
(Joung et al., 2013)	Categorization of indicators for sustainable manufacturing	2012	Mediante una revisión sistemática de la literatura, e indicadores e índices disponibles al público.	Indicadores usados por los ingenieros en producción para evaluar la sostenibilidad en los procesos y productos.	Cualitativa/ revisión sistemática	Se definen cinco grupos para los indicadores: administración ambiental, crecimiento económico, bienestar social, avance tecnológico y desempeño administrativo. El objetivo de los indicadores es evaluar, y su uso depende de la interpretación que se les dé.

(Bojja et al., 2014)	Sustainability assessment of products: A comparative study of sustainability assessment tools	2014	Instrumentos conocidos que tienen presencia en el mercado, usan distintos enfoques y sus licencias completas se encuentran disponibles.	Herramientas software de diseño para la sostenibilidad. <i>Sustainable Minds</i> , <i>CES Edupack</i> , <i>SimaPro</i> y herramienta desarrollada por los autores.	Cualitativa/ comparativa	Los instrumentos están enfocados al proceso de toma de decisiones de los diseñadores al facilitar el uso y la interpretación de la información. Es preferible tener retroalimentación de más de un instrumento sostenible para tener resultados confiables.
(Herrmann y Moltesen, 2015)	Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? e a comparative assessment of SimaPro and GaBi	2014	Las nuevas versiones de los dos softwares de análisis de ciclo de vida más usados para estudios de ciclo de vida.	Herramientas de ciclo de vida - SimaPro GaBi.	Cuantitativa/ comparativa	Muestra la diferencia de resultados debido al uso de inventarios distintos, además de errores de medición de impacto radicados en la base de datos. La incertidumbre de un análisis de ciclo de vida puede ser mayor que la que revela un análisis Monte Carlo, ya que no se contempla los datos incorrectos.
(Telenko et al., 2016)	A Compilation of Design for Environment Guidelines	2016	Método <i>Snowball</i> .	Principios, guías de diseño y listas de verificación descritas en la literatura académica, en los reportes industriales, y manuales.	Cualitativa/ revisión sistemática	Se definen dos grupos: las herramientas de diseño y las herramientas de análisis de ciclo de vida. Se definen cuatro criterios que cumplen las guías de diseño. Se menciona sobre el uso de certificaciones en el proceso de diseño, y sus similitudes con las guías de diseño.
(Oh, 2017)	From an Ecodesign Guide to a Sustainable Design Guide: Complementing Social Aspects of Sustainable Product Design Guidelines	2017	Instrumentos orientados al diseño industrial y al desarrollo de productos. Se enfoca en guías y estrategias para el proceso de diseño de productos.	Principios, manifiestos, guías de diseño, estrategias, marcos de trabajo y procesos.	Cualitativa/ comparativa	Define tres grupos: principios y manifiestos; guías y estrategias; y procesos y marcos de trabajo. Complementa los instrumentos para que cubran la dimensión social de la sostenibilidad.
(Schögl et al., 2017)	Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry	2017	Eco instrumentos e instrumentos para la sostenibilidad mediante una revisión sistemática. No contempla antecedentes de nuevos instrumentos.	Herramientas para el ecodiseño y el diseño sostenible: guías de diseño, reglas de dedo, herramientas de análisis de ciclo de vida, índices e instrumentos semicuantitativos.	Cualitativa/ revisión sistemática	Los instrumentos revisados carecen de una perspectiva totalmente sostenible, y sus planteamientos son muy generales, requieren operacionalización y disponibilidad de especificaciones, así mismo, requieren información muy detallada o tiene una naturaleza cuantitativa. Los instrumentos deben de ser adaptados a la industria y al producto a ser desarrollado.
(Ahmad et al., 2018)	Sustainable product design and development: A review of tools, applications, and research prospects	2018	Revisión de literatura del 2007 al 2017. Debido a la introducción de una metodología común para el ciclo de vida del costo (<i>Life Cycle Cost</i>).	Marcos de trabajo, metodologías de diseño e instrumentos encontrados en la literatura académica, estándares y reportes.	Cualitativa/ revisión sistemática	Se clasificaron los instrumentos en parciales y totalmente sostenibles. Se identificó la tendencia a usar una perspectiva de ciclo de vida en el desarrollo de nuevos instrumentos. Además, se obtuvo la relación entre los instrumentos, la etapa del proceso de diseño donde se usan y la etapa de ciclo de vida definida.
(Ahmad et al., 2019)	Sustainability indicators for manufacturing sectors: A literature survey and maturity analysis from the triple-bottom line perspective	2019	Revisión de literatura del 2007 al 2017. Indicadores relacionados con el sector manufacturero, aplicables y tendencias.	Indicadores que engloba a métricas, medidas y los propios indicadores.	Cualitativa/ revisión sistemática	Define tres grupos para clasificar indicadores: ambiental, social y económico. Propone una definición para indicadores y recomienda mejores prácticas para su uso e implementación en la manufactura.
(He et al., 2020)	Product Sustainable Design: A Review from the Environmental, Economic, and Social Aspects	2020	Instrumentos y metodologías de diseño del estado de la técnica para la sostenibilidad.	Metodologías de diseño para el ambiente, economía y sociedad. Instrumentos de literatura académica, estándares.	Cualitativa/ comparativa	Usa tres grupos para las metodologías: ambiental, social y económico. Para los instrumentos tres: ecodiseño, parcialmente sostenible y sostenible. Menciona el complementar instrumentos y métodos con distintos enfoques para lograr el desarrollo de productos sostenibles.

Hay distintos tipos de instrumentos analizados y debido a su aplicabilidad al proceso de diseño, se pueden analizar en conjunto, como se muestra en la columna de instrumentos recopilados. Éstos atienden a distintas clasificaciones y agrupaciones dadas sus características en común y el objeto del estudio, como se muestra en la columna de grupos definidos/ conclusiones. Respecto a la columna tipo de investigación se presentan por tipo de análisis realizado, cualitativo o cuantitativo, y por el tipo de trabajo realizado, una revisión sistemática con recomendaciones o el desarrollo de una propuesta a manera de conclusión, o un estudio comparativo entre instrumentos. Se observa una tendencia a realizar estudios comparativos en instrumentos cuantitativos, aunque como lo muestra Oh (2017), puede ser usado para complementar dimensiones de la sostenibilidad no consideradas en los instrumentos cualitativos y semicuantitativos.

A partir del cuadro anterior, se extrajeron los grupos definidos e identificados por los autores para agrupar a los instrumentos analizados (ver cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Artículos analizados y los grupos de instrumentos definidos para su clasificación.

#	Referencias	Grupos definidos por los autores
1	(Morbidoni et al., 2011)	Herramientas de análisis de ciclo de vida simplificado/ Herramientas integradas a sistemas CAD.
2	(Joung et al., 2013)	Grupos de indicadores: administración ambiental, crecimiento económico, bienestar social, avance tecnológico y desempeño administrativo.
3	(Borja et al., 2014)	Herramientas software de análisis sostenible.
4	(Herrmann y Moltesen, 2015)	Herramientas de análisis de ciclo de vida.
5	(Telenko et al., 2016)	Herramientas de diseño y Herramientas de análisis de ciclo de vida
6	(Oh, 2017)	Principios y manifiestos; guías y estrategias de diseño; procesos de diseño y marcos de trabajo.
7	(Schögggl et al., 2017)	Reglas de dedo cualitativas, guías de diseño, enfoques semicuantitativos, cuantitativos y Herramientas de optimización.
8	(Ahmad et al., 2018)	Herramientas parcialmente sostenibles y Herramientas sostenibles.
9	(Ahmad et al., 2019)	Grupos de indicadores: ambientales, sociales y económicos.
10	(He et al., 2020)	Herramientas de ecodiseño y Herramientas sostenibles. Además, tres subcategorías: cualitativas, semicuantitativas y cuantitativas.

Por otro lado, se compilaron 63 instrumentos ambientales, eco-, y sostenibles en la literatura, bases de datos, foros y páginas web, que cumplieran con los siguientes criterios:

1) aplicabilidad y enfoque al proceso de diseño de productos: significa que fueron concebidos para su integración directa, se incluyen los instrumentos que utilizan como base ciertas actividades o métodos tradicionales en el diseño y se le añaden conceptos sostenibles que sean usados por los diseñadores;

2) describan o puntúen al producto respecto a qué tan sostenible es: a pesar de no ser pensadas para su integración directa durante el proceso. Los instrumentos tienen lineamientos que evalúan o describen a los productos.

A partir de los grupos anteriores y de los 63 instrumentos compilados, se proponen 6 grupos basados en el enfoque de los instrumentos, es decir, en cómo se usan, qué tipo de información presentan, y cuál es su objetivo.

- Herramientas y estrategias de diseño: este grupo se formó a partir de los siguientes grupos definidos por autores: análisis de ciclo de vida simplificado (Morbidoni et al., 2011); las herramientas de diseño (Telenko et al., 2016); las herramientas software de análisis sostenible, dejando fuera los instrumentos de análisis de ciclo de vida completo (Borja et al., 2014); las guías y estrategias de diseño (Oh, 2017); y las reglas de dedo cualitativas, guías de diseño y enfoques semicuantitativos (Schögggl et al., 2017).
- Herramientas de análisis de ciclo de vida: este grupo se definió a partir de distintos autores que mencionan que es un instrumento con un procedimiento estandarizado por la norma ISO 14040 (Borja et al., 2014; Herrmann y Moltesen, 2015; Schögggl et al., 2017; Telenko et al., 2016).
- Certificaciones y grupos de indicadores: un indicador es un parámetro que describe o brinda información acerca de un estado mediante una o varias métricas cuantificables (Ahmad et al., 2019). Dada su naturaleza tanto Joung et al. (2013) como Ahmad et al. (2019) se enfocan en el estudio y clasificación de los indicadores en la literatura, pero para definir el grupo se incluyeron las certificaciones, ya que estas hacen uso de indicadores propios o actividades que requieren algún tipo de cálculo (Faludi, 2017).
- Premios y distinciones: Otro tipo de instrumentos de interés para el autor, son los premios para productos o prácticas sostenibles. Se definió el grupo premios y distinciones para analizar sus características. Este grupo es de interés ya que varios de estos instrumentos describen el cómo debería ser un producto sostenible, además de reconocer las características que lo hacen ser sostenible.
- Marcos de trabajo: Se define el grupo de marcos de trabajo a partir de Oh (2017) donde menciona que a diferencia de otros instrumentos, los marcos de trabajo "explican procedimientos sistemáticos para lograr resultados sostenibles en el diseño" (p. 49). Este tipo de instrumentos combinan principios, con descripción de actividades a realizar y conceptos.

- Principios y manifiestos: grupo que engloba a aquellos instrumentos que describen filosofías, o pautas de comportamiento fundamentales a distintos niveles de abstracción (Oh, 2017; Telenko et al., 2016).
- Instrumentos de la literatura: Al analizar las revisiones de literatura de Ahmad et al. (2018) y He et al. (2020) se observó que podría existir otro grupo de instrumentos llamados instrumentos de la literatura. Estos instrumentos se caracterizan por ser de reciente creación, contar con un nivel de madurez bajo, y algunas veces no cuentan con un caso de estudio para mostrar su eficacia. Este grupo podría ser usado como un medidor de tendencias en el campo de la investigación y desarrollo de nuevos instrumentos sostenibles para el diseño. Sin embargo, al estar compuesto de instrumentos considerados en los grupos anteriormente definidos, se optó por no ahondar en él.

4.2 Clasificación de instrumentos y análisis de grupos definidos

Los 63 instrumentos fueron clasificados en los 6 grupos establecidos (ver cuadro 4.3) y los subgrupos identificados en la sección anterior para conocer sus características, identificar elementos en común y conocer en qué parte del proceso de diseño pueden ser aplicadas. En esta tesis se empleará el proceso de diseño descrito por Borja y Ramírez (2006) para la innovación de productos. En la figura 4.1 se muestran los grupos y algunos subgrupos de instrumentos ubicados según el tipo de información que manejan.

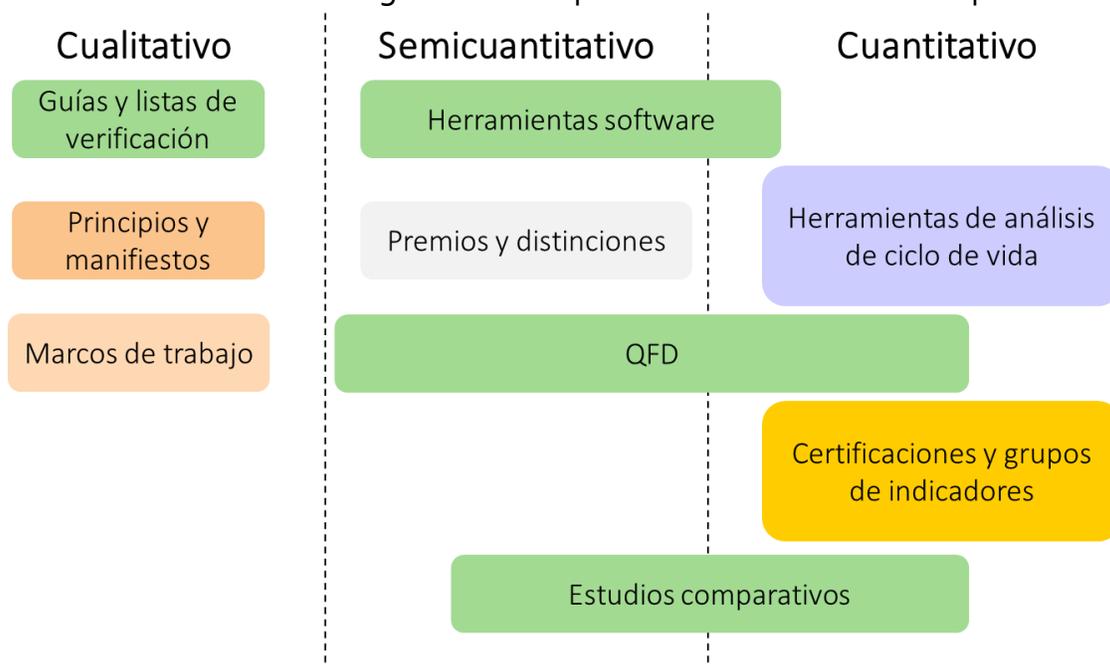


Figura 4.1 Grupos definidos para los instrumentos de diseño sostenible graficados a partir de la información que manejan de entrada y salida. Algunos grupos y subgrupos tienen una naturaleza mixta en la información que manejan debido a la diversidad de instrumentos que los componen o a la transformación de un tipo de información a otro durante su uso.

Cuadro 4.3 Instrumentos analizados y agrupados según sus características y dimensión sostenible abordada.

Grupo	Título	DS*	Grupo	Título	DS*	
Herramientas y estrategias de diseño	Tablas	Eco-Indicator 99 (PRé Consultants et al., 2000)	Premios y distinciones	Circular Economy Multinational (The Circulares, 2021)	Δ □	
	Software	Sustainable Minds (Sustainable Minds, 2021)		Δ	CDP (CDP Worldwide, 2018)	Δ
		SolidWorks Sustainability (Dassault Systèmes, 2013)		Δ	Science Based targets CO2 (Science Based Targets, 2021)	Δ
		GRANTA EduPack (CES-Edupack) (Ansys, 2021)		Δ	BLIS - COMECYT/UNAM/EDOMEX (COMECYT y UNAM, 2021)	Δ □ ○
		IDEmat (Meursing, 2015)		Δ	Premio CEMEX-TEC (CEMEX y ITESM, 2018)	Δ □ ○
		Makersite Sustainability (Markersite GmbH, 2021)		Δ	Premio a la innovación sostenible - Walmart/Socialab (socialab y Walmart, 2019)	Δ □ ○
		Walmart sustainability hub (Walmart, 2021)		Δ	Sustainable product design award (GAIA, 2021)	Δ
		Okala Ecodesign Strategy Wheel (White et al., 2013)		Δ	SEAL Awards (SEAL Awards, 2021)	Δ □ ○
	Guías de diseño	Lunar's Designer's Field Guide to sustainable Design (LUNAR, 2012)		Δ □	Green Product Award (Green Product Award, 2021)	Δ
		Circular Design Guide (Ellen MacArthur Foundation y IDEO, 2017)		Δ □ ○		
Herramientas LCA		SIMAPRO (PRé Consultants, 2020)	Certificaciones y grupos de indicadores	C2C (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2019)	Δ ○	
		CCaLC (University of Manchester, 2016)		DJSI (S&P Global, 2021)	Δ □ ○	
		GaBi (Sphera, 2016)		EPEAT (Green Electronics Council (GEC), 2021)	Δ	
		OpenLCA (Hildenbrand et al., 2005)		GRI (Global Reporting Initiative, 2021)	Δ □ ○	
		Umberto (iPoint-systems gmbh, 2021)		FSC (FSC, 2021)	Δ ○	
		Economic Input-Output LCA (Carnegie Mellon University, 2016)		Fair Trade (Fair Trade USA, 2021)	□ ○	
				Energy Star (Environmental Protection Agency y Star, 2017)	Δ	
Literatura	Marcos de trabajo	Sensing, smart and sustainable product development (Miranda et al., 2019)	Principios y manifiestos	2005 ESI (ESI, 2021)	Δ	
		A framework for strategic sustainable development (Broman y Robèrt, 2017)		Eprl (Eurostat, 2003)	Δ	
		Sustainable product design framework (X. Zhang et al., 2020)		UN-SDG indicator database (UN, 2021)	Δ □ ○	
		A customization-oriented framework design for sustainable product/service system (Song y Sakao, 2017)		OECD Sustainable Manufacturing Indicators (OECD, 2019)	Δ □ ○	
		Meta-MAP Framework (Maher et al., 2018)		Ford PSI (Schmidt y Taylor, 2006)	Δ □ ○	
	Herramientas LCA			Multiobjective material selection method (Zhou et al., 2009)	Our Common Future (Brundtland y WCED, 1987)	Δ □ ○
				Benchmark-based method that integrates QFD and LCA (Hosseinpour et al., 2015)	ODS (UN, 2017)	Δ □ ○
				LCA integrated with Monte Carlo Simulation (Sekar Vinodh y Rathod, 2014)	Natural Capitalism (Hawken et al., 2021)	Δ □ ○
				CBA based LCSA (Hoogmartens et al., 2014)	Hannover Principles (McDonough y Braungart, 1992)	Δ □ ○
DSS for MTSI (Azkarate et al., 2011)			The Living Principles of Design (Brink et al., 2009)	Δ □ ○		
Herramientas de diseño		Fuzzy Green QFD (Wu y Ho, 2015)	Cradle to Cradle (McDonough y Braungart, 2002)	Δ □ ○		
		Integrated approach based QFDE and modularity (Yu et al., 2015)	The Natural Step (The Natural Step International, 2021)	Δ □ ○		
		Integrated ECQFD-TRIZ-AHP design method (S. Vinodh et al., 2014)	Total Beauty (Datschefski, 1999)	Δ □ ○		
		Environmentally conscious quality function deployment (ECQFD) and LCA based methods (Wang et al., 2010)	The Principles of Green Engineering (P. T. Anastas y Zimmerman, 2003)	Δ □		
Certificaciones y grupos de indicadores		Fuzzy QFD (S. Vinodh et al., 2017)	DS*: dimensión de la sostenibilidad abordada por la herramienta. Δ: Ambiental □: Económica ○: Social			
		ProdSI method (H. Zhang et al., 2019)			Δ □ ○	
		Fuzzy sustainability evaluation method (Hemdi et al., 2013)			Δ □ ○	
		Sustainable platform identification for product family design (Kim y Moon, 2017)	Δ □ ○			

Herramientas y estrategias de diseño

Tienen como característica la aplicabilidad directa en el proceso de diseño de productos debido a que estos instrumentos usan como base otros instrumentos tradicionales en el proceso de diseño. En este grupo se incluyen, instrumentos como guías de diseño, tablas, listas de verificación, estudios comparativos, matrices de requerimientos de QFD, software de análisis de ciclo de vida simplificado (S-LCA) que pueden o no estar integrados a un sistema CAD, entre otros. Éste último permite la rápida evaluación en etapas donde no es posible realizar un análisis de ciclo de vida completo debido a la falta de información (Morbidoni et al., 2011). Al ser un grupo que incluye distintos tipos de instrumentos, su aplicabilidad en el proceso de diseño depende del subgrupo de instrumentos al que se haga referencia, puesto que se complementan para cubrir todas las etapas del proceso (ver cuadro 4.2). Las guías de diseño suelen ser usadas para la generación y construcción de conceptos solución, así como para su evaluación temprana (Telenko et al., 2016), por otro lado, las tablas y S-LCA son usadas en las actividades de evaluación, puesto que permiten tomar decisiones de manera cuantitativa, sobre todo en las etapas de: definición del problema para definir metas; diseño conceptual para generación, refinamiento y evaluación; y diseño de detalle para selección, evaluación de alternativas, comparación de soluciones implementadas y aspectos de manufactura. Sin embargo, la información obtenida no puede ser usada para comunicar el desempeño del producto debido al uso de datos genéricos que no representan la situación real de lo evaluado (Goedkoop y Spriensma, 2000; Sustainable Minds, 2021). Respecto a las matrices de QFD y los estudios comparativos, son instrumentos usados para priorizar requerimientos relevantes, parámetros sostenibles y establecer metas que permitan lograr la sostenibilidad en el diseño (Hosseinpour et al., 2015; S. Vinodh et al., 2017). Finalmente, las listas de verificación permite verificar y evaluar el cumplimiento de actividades y aspectos a considerar en el producto que son importantes a lo largo del proceso de diseño (von Geibler et al., 2019).

Herramientas de análisis de ciclo de vida

Aquí se incluyen todos los instrumentos que tienen como principio el análisis de ciclo de vida descrito por la norma ISO 14040. El análisis de ciclo de vida o LCA por sus siglas en inglés, "es una técnica que estima aspectos ambientales y potenciales impactos a largo plazo de todo el ciclo de vida de productos y/o servicios" (Manzini y Vezzoli, 2008, p. 227). El LCA requiere información a detalle de entradas y salidas del producto y sus procesos asociados en las distintas etapas de su ciclo de vida, por lo que su aplicabilidad se encuentra en las etapas finales del proceso de diseño como en la etapa de detalle, donde la gran mayoría de las decisiones han sido tomadas y gran cantidad de información se encuentra disponible. Por otro lado, en las etapas iniciales permite realizar comparaciones y evaluaciones a productos existentes, establecer metas y estrategias para el producto a desarrollar (ver cuadro 4.2) (Manzini y Vezzoli, 2008; Telenko et al., 2016). En general, el

LCA presenta una relación inversamente proporcional entre la eficacia y aplicabilidad, por lo que puede no ser viable en las etapas donde se tengan suposiciones o distintas alternativas de solución como en el diseño conceptual (Hosseinpour et al., 2015; Manzini y Vezzoli, 2008; Morbidoni et al., 2011).

Certificaciones y grupos de indicadores

Usadas en extenso en el ámbito industrial, muchos de estos instrumentos tienen como base normas y legislaciones nacionales y transnacionales. Hacen uso de información cuantitativa y permiten la comparación en el tiempo y en distintos ámbitos, de aspectos sostenibles en el producto. Joung (2013) propone agrupar a los indicadores en 5 categorías: gestión ambiental, crecimiento económico, bienestar social, avance tecnológico, y desempeño administrativo. Sin embargo, al usar métricas para evaluar se requiere de un análisis desde su generación para asegurarse que la métrica sea relevante, para la planeación y metas establecidas para el producto, así como para evitar caer en el sesgo que implica ver a las métricas de efectos en el medio ambiente, dado que estas se podrían cumplir sin aprender y cambiar el pensamiento que creó el problema inicial (Robèrt, 2000). Debido a su naturaleza cuantitativa, pueden ser aplicados en las etapas de especificaciones para establecer metas, y en la etapa de diseño de detalle, por la cantidad de información requerida para calcularlos (ver cuadro 4.2).

Premios y distinciones

Funcionan como reconocimientos a las prácticas y estrategias sostenibles relevantes para los grupos de interés y actores en la industria y gobierno. Se definen como instrumentos porque presentan lineamientos que permiten elaborar el *brief* o declaración de la misión para el proceso de diseño, por ejemplo: *The Circulars* (2021) es un premio que tiene lineamientos por categoría tal que se propongan soluciones sostenibles; de igual manera, usan métricas y lineamientos para calificar a productos ya existentes. Usualmente se brinda un incentivo económico a los ganadores, además de difusión del producto y de la empresa en distintos medios. Debido al tipo de información semicuantitativa que proporcionan los premios y las distinciones, pueden usarse en la etapa de identificación de necesidades para promover y acelerar el proceso mediante los lineamientos y retos a resolver (CEMEX y ITESM, 2018; socialab y Walmart, 2019; *The Circulars*, 2021), por otro lado, en las etapas finales como el diseño de detalle, se pueden utilizar para reconocer y evaluar los aspectos sostenibles del producto (COMECYT y UNAM, 2021; GAIA, 2021; SEAL Awards, 2021) (ver cuadro 4.2).

Principios y manifiestos

Existen distintos nombres para referirse a ellos, se incluyen términos como estrategias, mentalidad, filosofías o reglas de dedo. Declaran el criterio de comportamiento fundamental e ideas acerca de la sostenibilidad (Oh, 2017). Suelen ser generales, es decir, abordan de manera general estrategias sin indicar el cómo proceder, manteniendo la

ambigüedad para ser usadas en el diseño de distintos tipos de proyectos y productos. Esta ambigüedad permite al diseñador generar soluciones alternativas e innovadoras, además de elegir opciones que cumplan la necesidad de la manera más efectiva, teniendo como efecto, servir de guía a lo largo del proceso de diseño (Telenko, 2009; Telenko et al., 2016). Su clasificación como instrumentos se debe a que, a partir de ellos, se generan otros instrumentos más específicos que permiten su aplicabilidad al proceso de diseño. Ejemplo: un principio de *Cradle to Cradle* (McDonough y Braungart, 2002): la comida es desecho invita al diseñador a pensar de manera sistémica en soluciones y productos que cumplan con una naturaleza cíclica. Debido a su naturaleza general, pueden ser usados a lo largo del proceso de diseño de productos (ver cuadro 4.2), aunque requieren de ciertas adaptaciones por parte de los diseñadores para su aplicabilidad en la etapa de diseño de detalle (Telenko et al., 2016).

Marcos de trabajo

Se usan como guías para implementar distintos instrumentos, así como dar seguimiento a actividades y metas para lograr resultados sostenibles (Oh, 2017). Esto lo logran al proveer conceptos y procedimientos para la toma de decisiones (Flores-Calderón, 2011). Se consideraron como instrumentos dado que cumplen con los dos criterios de selección de la sección anterior: 1) aplicabilidad al proceso de diseño, pero a diferencia de la categoría de principios y manifiestos, suelen ser más explícitos. 2) describen el cómo debe de ser un producto sostenible mediante lineamientos que son sustentados por ejes de acción. Si bien son extensos y descriptivos con las actividades que recomiendan, no son una alternativa para conceptos o instrumentos para las métricas (Robèrt, 2000). Entre sus áreas de mejora, los diseñadores tienen la percepción de que son instrumentos incompletos (Faludi, 2017), pero suelen proveer la estructura para poder implementar otros instrumentos y estrategias para el diseño sostenible, además de brindar soporte para la resolución de concesiones de diseño (Byggeth y Hochschorner, 2006), de manera que son aplicables en todas las etapas del proceso de diseño (ver cuadro 4.2).

Cuadro 4.4 Grupos de instrumentos sostenibles y su aplicación en el proceso de innovación de productos

Grupos de instrumentos		Etapas del proceso de innovación de productos			
		Definición del problema e identificación de necesidades	Especificaciones del producto	Diseño conceptual	Diseño de detalle
Herramientas y estrategias de diseño	Guías		X	X	
	Listas de verificación		X	X	
	S-LCA			X	X
	QFD		X		
	Estudios comparativos	X	X		
Herramientas de análisis de ciclo de vida		X	X		X
Certificaciones y grupos de indicadores			X		X
Premios y distinciones		X			X
Principios y manifiestos		X	X	X	X
Marcos de trabajo		X	X	X	X

4.3 Desarrollo de recomendaciones para la integración de instrumentos sostenibles al proceso de diseño

A partir de la relación entre los instrumentos y las etapas del proceso de innovación de productos (Borja Ramírez y Ramírez-Reivich, 2006), así como el tipo de información que se desarrollaron recomendaciones para la aplicación de los instrumentos en la etapa del proceso de diseño donde mejores resultados puede tener. Estas recomendaciones toman en cuenta algunos subgrupos de instrumentos debido a que sus características se acoplan mejor a cierta etapa en particular.

- **Definición del problema e identificación de necesidades**
 - Selecciona:
 - **Principios sostenibles** acordes a la necesidad encontrada.
 - **Marco de trabajo sostenible** que permita dar seguimiento a los objetivos sostenibles.
 - Establece objetivos sostenibles mediante:
 - **Estudios comparativos considerando los tres pilares de la sostenibilidad usando análisis de ciclo de vida (LCA)*** de productos y soluciones, análogas y homólogas.
 - **Los criterios usados por los premios y distinciones** para el producto a desarrollar.
- **Especificaciones del producto**
 - Incluye y complementa las especificaciones con:
 - **Certificaciones, indicadores y métricas** considerando las siguientes categorías: gestión ética del medio ambiente, crecimiento económico, bienestar social, avances tecnológicos y desempeño administrativo.
 - Los **principios, manifiestos, guías de diseño y listas de verificación** transformadas a especificaciones. Las **guías y listas de verificación de diseño sostenible** deben ser lo más generales posibles y considerar el tipo de producto a desarrollar.
 - Métricas obtenidas de los **estudios comparativos y análisis de ciclo de vida (LCA). ***
 - Especificaciones obtenidas de la aplicación de un **QFD sostenible**.
- **Diseño conceptual**

- Usa **guías de diseño, listas de verificación, principios y manifiestos como complemento** para la generación de ideas usando un enfoque que considere los tres pilares de la sostenibilidad.
 - **Evalúa los conceptos mediante las herramientas de diseño como las de análisis de ciclo de vida simplificado (S-LCA).** Para resultados más confiables, usa distintos tipos de S-LCA.
 - **Diseño de detalle**
 - Verifica que las **certificaciones y los grupos de indicadores** se hayan cumplido, así como la afinidad con los **criterios usados por los premios y las distinciones.**
 - Realiza un **análisis de ciclo de vida (LCA)*** con el objetivo de encontrar áreas de mejora en el diseño. Si es posible, comparar entre distintos software y bases de datos para una mayor confiabilidad en el resultado.
- * Considera, según aplique y el tiempo disponible, los distintos tipos de datos que se pueden usar en un LCA y su confiabilidad.**

De estas recomendaciones para la integración de instrumentos sostenibles, se observa que aún queda la necesidad de integrar a la sostenibilidad y darle seguimiento en el proceso de diseño, puesto que no están presentes conceptos claves como la visión de sistemas que incluye al ciclo de vida, la interrelación con los aspectos sociales y las repercusiones entre actividades. Para esto, se necesita entender la relación entre diseño y sostenibilidad mediante un instrumento simple, claro y con la flexibilidad suficiente tal que permita a los diseñadores apropiarse de ella sin restringirlos debido al tipo de producto.

Un punto de partida es entender el comportamiento de los distintos instrumentos durante el proceso de diseño. Debido a las distintas exigencias de cada una de las etapas de un proceso de diseño, los instrumentos suelen tener un enfoque prematuramente cuantitativo. En etapas donde la información cuantitativa es escasa y/o aún no ha sido definida se realizan actividades de medición, comparación y toma de decisiones. Esto implica la variación de resultados en los instrumentos sostenibles en etapas tempranas. Sin embargo, como se menciona en los capítulos iniciales, en las etapas iniciales del proceso de diseño de productos es donde se puede tener la mayor incidencia en el aspecto sostenible (Faludi, 2017).

De los instrumentos analizados anteriormente, se eligieron aquellos con un enfoque cualitativo, que se aplican en las etapas iniciales del proceso de diseño. Se eligieron los siguientes grupos y subgrupos de instrumentos: guías de diseño, listas de verificación, marcos de trabajo y principios y manifiestos. Estos instrumentos están constituidos por un

conjunto de principios a distintos niveles de abstracción, incluso, algunas guías y listas de verificación de diseño sostenible están basadas en principios, manifiestos y marcos de trabajo (P. Anastas y Zimmerman, 2003; Schöggel et al., 2017). La categoría de premios y distinciones a pesar de su aplicabilidad en las etapas tempranas del proceso de diseño, se dejan fuera debido a que su uso está enfocado a la identificación de necesidades y la aplicación de principios de sostenibilidad que ya han sido considerados por otros instrumentos de los escogidos.

4.4 Homologación de principios de diseño sostenible e integración de objetivos de desarrollo sostenible

De los 63 instrumentos previamente analizados, se seleccionaron 7 debido a que sirven de base para el desarrollo de más instrumentos y se componen de principios propuestos para una gama amplia de productos con el objetivo de desarrollar un instrumento que pueda ser implementado en las etapas iniciales, y pueda ser usado para dar seguimiento a lo largo del proceso de diseño del producto. Los principios de cada uno de los instrumentos se muestran en su idioma original, con el objetivo de mantener la esencia de sus autores y evitar interpretaciones en su traducción.

- *Cradle to Cradle* (C2C) (McDonough y Braungart, 2002): es un manifiesto sobre el diseño de la cuna a la cuna, donde se invita a realizar un cambio de paradigma sobre la ecoeficiencia (minimizar el daño al medio ambiente y sociedad) hacia la eco efectividad (hacer las cosas distintas para no dañar el medio ambiente ni la sociedad). Se resume en los siguientes principios:

C2C1: *Waste = Food.*

C2C2: *Use of solar energy.*

C2C3: *Celebrate diversity.*

- *Total Beauty* (TB) (Datschefski, 1999): A manera de un recopilatorio de años de experiencia en el diseño y desarrollo de cientos de productos innovadores y mediante un enfoque biomimético, *Total Beauty* presenta 11 principios y 5 requerimientos de diseño con el objetivo de diseñar productos cíclicos, solares y seguros tanto para el ser humano como para el medio ambiente. A manera de resumen, se presentan 12 principios que contempla lo anterior.

TB1. *Cyclic Mined. The product becomes more cyclic by making use of recycled metal, glass, or plastic, by becoming more recyclable, or both.*

TB2. *Cyclic Grown. The product becomes more cyclic by making use of grown materials such as wood, leather, and wool, by becoming more compostable, or both.*

TB3. *Alternative Energy in Use. The product becomes more solar by using a renewable energy in use, sometimes by using solar-generated electricity.*

TB4. *Alternative Energy in Manufacture. The product becomes more solar by using a renewable energy source for its manufacturing process.*

TB5. *Substitute Materials. The product becomes safer as a result of toxic materials or components being substituted for safer ones.*

TB6. *Stewardship Sourcing. The product becomes safer in the habitat preservation sense, and more social, by getting raw materials from fairly-traded sources or low impact sources such as FSC approved forests.*

TB7. *Utility. The product becomes more efficient by providing greater utility for the user, such as multifunction products or rented products.*

TB8. *Durability. The product becomes more efficient in materials usage as it lasts longer.*

TB9. *Efficiency. The product becomes more efficient in its use of energy, water, and materials, both in manufacture and use.*

TB10. *Bio-everything. The product becomes more cyclic, solar, and safe as a result of using living organisms or biomimicry techniques.*

TB11. *Communication. The product communicates information that leads to a better environmental performance, usually by changing the behavior of users. Example: Plastics labelling to aid recycling.*

TB12. *Social. The product and its components and raw materials are manufactured under fair and just operating conditions for the workers involved and the local communities.*

- *Natural Capitalism (NC)* (Hawken et al., 2021): propuesta de una nueva economía, para resolver los traslapes entre la industria actual y el medio ambiente, al comenzar por ver a los recursos naturales y a los ecosistemas como capital de valor incalculable. De esta manera, buscan valorar adecuadamente a la naturaleza y dar ventaja competitiva a las industrias mediante estos 4 principios:

NC1: *Radically increase resource productivity.*

NC2: *Redesign industry on biological lines, with no waste & no toxicity.*

NC3: *Shift from the sales of goods to the provision of services.*

NC4: *Take the profits from these kinds of improvements and reinvest them in natural capital.*

- *The Natural Step (NS)* (Robèrt, 2000): desarrollado a partir del informe de Brundtland, y el análisis de los sistemas socio ecológicos. Se compone de 4 condiciones a las cuales un sistema socio ecológico sobrevive si se cumplen:

NS1: *Eliminate our contribution to the progressive buildup of substances extracted from the earth's crust.*

NS2: *Eliminate our contribution to the progressive buildup of chemicals and compounds produced by society.*

NS3: *Eliminate our contribution to the progressive physical degradation and destructive of nature and natural processes.*

NS4: *Eliminate our contribution to conditions that undermine people's capacity to meet their basic human needs.*

- *The Hannover Principles* (HP) (McDonough y Braungart, 1992): desarrollados en el marco de la EXPO 2000 en la ciudad de Hannover, buscan ser aplicados a distintos campos en el diseño, al alentar a los diseñadores a considerar a la sostenibilidad en el diseño y desarrollo de productos.

HP1: *Insist on rights of humanity and nature to co-exist.*

HP2: *Recognize interdependence.*

HP3: *Respect relationships between spirit and matter.*

HP4: *Accept the responsibility of design.*

HP5: *Create safe objects for long-term value.*

HP6: *Eliminate the concept of waste.*

HP7: *Rely on natural energy flows.*

HP8: *Understand the limitations of design.*

HP9: *Seek constant improvement by the sharing of knowledge.*

- Los principios de diseño ambiental de Telenko (TS) (Telenko et al., 2016): a partir de una compilación de múltiples guías de diseño, listas de verificación y reglas de dedo para el diseño ambiental, se definieron 6 principios que sintetizan a los instrumentos compilados:

TS1: *Maximize availability of resources.*

TS2: *Maximize healthy inputs and outputs.*

TS3: *Minimize use of resources in production and transportation phases.*

TS4: *Minimize consumption of resources during operation.*

TS5: *Maximize technical and esthetic life of the product and components.*

TS6: *Facilitate upgrading and reuse of components.*

- *The Principles of Green Engineering* (GE) (P. Anastas y Zimmerman, 2003): estos principios contemplan temas relevantes para la sostenibilidad y buscan orientar en el diseño de productos sostenibles al indicar las oportunidades en la optimización de productos, servicios y sistemas.

GE1: *Material and energy must be non-hazardous.*

GE2: *Eliminate waste.*

GE3: *Separation and purification should be designed to minimize energy consumption and material use.*

GE4: *Maximize efficiency of mass, energy, space, and time.*

GE5: *PPS should be out-pulled rather than input-pushed.*

GE6: *Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse or beneficial disposition.*

GE7: *Target durability, not immortality.*

GE8: *Design for an unnecessary capacity or capability is a design flaw.*

GE9: *Minimize material diversity.*

GE10: *Design of PPS must include integration and interconnectivity with available energy and material flows.*

GE11: *PPS should be designed for performance in a commercial afterlife.*

GE12: *Renewable rather than depleting.*

De cada uno de los 7 instrumentos, se extrajeron uno a uno sus principios y se ordenaron bajo una descripción que permita generalizar al principio en común que se refieren. Por ejemplo, los principios GE12: Renewable es preferible al agotamiento de recursos, HP7: Busca depender de flujos naturales de energía, C2C: Uso de energía solar y TB3 y 4: Uso de energías renovables tanto en el uso como en la manufactura del producto, por lo que se engloban como el principio de diseño sostenible 4: Preferir los recursos y energías renovables.

Aunque existen traslapes entre distintos principios, se consideran en otro principio cuando atienden a ideas distintas. De manera que algunos principios de cada uno de los 7 instrumentos se encuentran en más de uno de los principios de diseño sostenible propuestos. Por ejemplo, el principio C2C1: El desperdicio es igual a comida, hace referencia a entradas y salidas saludables de procesos (principio de diseño sostenible 2), a hacer un cambio respecto al por qué generamos desechos (principio de diseño sostenible 5), y a adoptar un enfoque cíclico o pensamiento sistémico al diseñar productos (principio de diseño sostenible 10).

En se muestran los 13 principios de diseño sostenible definidos y los principios particulares de los 7 instrumentos que los componen mediante el proceso anterior descrito, así como las dimensiones de la sostenibilidad abordados por cada uno de ellos. Las siglas NA se aplican a los principios donde no corresponde a una dimensión de la sostenibilidad, pero que se consideran relevantes para abordarla.

1. Maximizar la eficiencia de materiales, energía, tiempo y espacio a lo largo del ciclo de vida del producto (TB8, TB9; NS1; NC1; GE3, GE4; TS1, TS3, TS4) (Ambiental económico).
2. Maximizar las entradas y salidas saludables (no tóxicas o negativas para el ambiente y la sociedad) en todo el ciclo de vida del producto (NS2, NS4; TB5, TB6, TB10; C2C1; NC2; HP5; TS2; GE1) (Ambiental Social).

3. Cambiar de la venta de bienes físicos, al ofrecimiento de servicios (NC3) (Económico).
4. Preferir los recursos y las energías renovables (GE12; HP7; C2C2; TB1-4, TB10; NC4) (Ambiental Económico).
5. Eliminar el desecho, cumplir la necesidad (GE2, GE5, GE8; C2C1; NC2; HP6; TB1, TB2, TB10, TB11; NS1-4) (Económico Ambiental).
6. Elegir y promover procesos bajo condiciones justas para los trabajadores y comunidades involucrados (TB12; C2C3) (Social).
7. Promover la retención del valor y la durabilidad técnica y estética (TS5, TS6; GE7, GE9; HP5; TB7, TB8) (Económico Ambiental).
8. Diseñar para la integración del producto y sus procesos asociados a los flujos sustentables existentes de energía y materiales (GE10; HP2, HP8; TB10) (Ambiental Económico).
9. Diseñar para una vida futura económicamente rentable (GE11) (Económico).
10. Adoptar un pensamiento de sistemas/pensamiento sistémico (C2C1, C2C3; TS1; NS3, NS4; GE6; HP2, HP3, HP8; TB1, TB2, TB10) (NA).
11. Insistir en los derechos de coexistencia entre la humanidad y la naturaleza (C2C3; HP1, HP8) (Social).
12. Buscar la mejora constante compartiendo conocimiento y fomentar la creación de redes y alianzas (HP9; TB11) (Social).
13. Aceptar la responsabilidad que conlleva el diseño (HP4, HP8) (NA).

Al analizar los 13 principios de diseño sostenible, se observa que sólo los principios 2, 6, 11 y 12 contemplan la dimensión social de la sostenibilidad, a diferencia de las dimensiones económica y ambiental, que son abordadas por 8 y 7 principios respectivamente. De manera que para desarrollar un instrumento sostenible se requiere incluir la dimensión social de manera extensa, además de reforzar una visión holística que permita entender las repercusiones de las decisiones tomadas.

Para lograr esto, se eligieron los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (ODS), propuestos por líderes mundiales para implementar una agenda que permita erradicar la pobreza, la protección medioambiental y el desarrollo económico mediante la participación de distintos niveles de organizaciones y sectores sociales (ONU, 2021). Los ODS se componen de 17 objetivos, y a su vez de 169 metas específicas por alcanzar. Para poder usarlos se requiere identificar las metas que sean aplicables al dominio del diseño y convertirlas a principios de diseño, además de garantizar que las tres dimensiones se encuentren abordadas en lo posible de manera equitativa.

Al analizar las metas de los ODS fueron descartadas aquellas que se encontraron que atienden a temas específicos que dificultan su aplicación a distintos problemas de diseño o bien pueden ser problemáticas en sí para el diseño de productos, por ejemplo: la meta

2.4 hace referencia a la implementación de sistemas sostenibles en producción de alimentos y el sector agrícola; quedan fuera del dominio de acción del diseño de productos, por ejemplo: la meta 16.3 busca promover el estado de derecho y garantizar el acceso universal a la justicia.

En el cuadro 4.5 se muestra en la primera columna los objetivos de desarrollo sostenible, en la segunda columna, las metas identificadas para ser adaptadas a principios de diseño a partir de los criterios antes descritos y en la tercera columna las dimensiones de la sostenibilidad abordadas por cada uno de los ODS. Esta última columna muestra que las dimensiones son abordadas de manera equitativa, 9 para cada una de las tres. Cabe mencionar que los ODS están formulados tal que los objetivos se encuentran interconectados y que cada uno de ellos puede considerar distintas dimensiones de la sostenibilidad de manera simultánea en el desglose de sus metas (ONU, 2021).

Cuadro 4.5 Los ODS y metas identificadas para su adaptación a principios de diseño sostenible

Objetivo de desarrollo sostenible (ODS)	Metas identificadas	Dimensión sostenible
1.- Fin de la pobreza	1.1, 1.4, 1.5	Social Económico
2.- Hambre cero	-	-
3.- Salud y bienestar	3.9	Ambiental Social
4.- Educación de calidad	-	-
5.- Igualdad de género	5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5b	Social Económico
6.- Agua limpia y saneamiento	6.3, 6.4, 6.5, 6.6	Ambiental Económico
7.- Energía asequible y no contaminante	7.3, 7.a	Ambiental Económico
8.- Trabajo decente y crecimiento económico	8.2, 8.4, 8.5, 8.7, 8.8	Sostenible
9.- Industria, innovación e infraestructura	9.2, 9.4, 9.5	Económico Social
10.- Reducción de las desigualdades	10.2, 10.3	Social
11.- Ciudades y comunidades sustentables	11.3, 11.4, 11.6	Sostenible
12.- Producción y consumo responsables	12.1, 12.2, 12.4, 12.5, 12.6, 12.8	Sostenible
13.- Acción por el clima	13.a	Ambiental
14.- Vida marina	14.1, 14.3	Ambiental
15.- Vida de ecosistemas terrestres	15.1, 15.4, 15.5, 15.9	Ambiental Económico
16.- Paz, justicia e instituciones sólidas	-	-
17.- Alianzas para lograr objetivos	17.6, 17.7	Social

Para identificar los temas abordados por las metas de los ODS, se usó el mismo procedimiento usado para los 13 principios de diseño sostenible. En el anexo 1 se encuentran las metas de los ODS que fueron identificadas para su uso en el diseño de productos, así como los temas principales que aborda cada una de ellas. Varias metas consideran más de un tema, en algunos casos se encuentran repetidos o con algunas variaciones como el enfoque sobre elementos como recursos o ecosistemas.

Finalmente, se definieron 13 grupos que resumen los temas principales abordados en las metas de los ODS:

1. Condiciones de trabajo (metas 1.1,1.4, 8.2, 8.4, 8.7, 8.8, 9.2, 12.1): incluye temas como la inclusión en el trabajo, mantenimiento y generación de empleos, seguridad laboral, protección de los derechos laborales, y la erradicación del trabajo forzado, la esclavitud, la trata de personas y el trabajo infantil.
2. Conservación del patrimonio cultural (meta 11.4): según la UNESCO (2021) en el patrimonio cultural se incluyen monumentos, objetos, tradiciones orales, saberes, técnicas artesanales tradicionales y cualquier tipo expresión cultural. Para conservar la diversidad cultural es importante su protección y conservación. Se busca que el diseñador conozca las implicaciones del diseño de productos en el patrimonio cultural.
3. Conservación y protección de los ecosistemas y su diversidad (metas 8.4, 11.4, 12.1, 15.4, 15.5, 15.9): buscan una mejor relación entre la humanidad y los ecosistemas naturales, de manera que se tengan beneficios mutuos en un esquema de desarrollo sostenible.
4. Crecimiento sostenible (meta 15.9): crecimiento considerando una perspectiva holística, tal que los procesos de desarrollo industrial y las planificaciones gubernamentales tomen en cuenta el valor de los ecosistemas y su diversidad biológica y promuevan estrategias para evitar su explotación.
5. Diseño con perspectiva de género (metas 5.b, 11.3): tomar en cuenta a las mujeres y grupos de vulnerables durante el diseño, de manera que se promueva su empoderamiento.
6. Diseño incluyente (metas 1.4, 1.5, 10.2): mediante el diseño de productos, fomentar la inclusión social, económica y política para eliminar brechas de desigualdad y vulnerabilidad entre las personas.
7. Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables (metas 1.4, 1.5, 5.5, 8.4, 8.8, 9.2, 11.3, 12.1): fomentar la participación en toma de decisiones, garantizar sus derechos a recursos y servicios básicos, así como a nuevas tecnologías. Asegurar que en todos los niveles exista la igualdad de oportunidades en el liderazgo.

8. Gestión de emisiones (metas 3.9, 6.3, 8.4, 11.6, 12.1, 12.4, 13.a, 14.1, 14.3, 15.1): reducción y eliminación de emisiones dañinas para los ecosistemas, su diversidad y la humanidad. Prevenir y eliminar la contaminación de todo tipo.
9. Gestión de productos químicos (metas 3.9, 6.3, 11.6, 12.4): reducir, eliminar y prevenir la contaminación, así como gestionar de manera adecuada los productos químicos y sus desechos.
10. Gestión de residuos (metas 8.4, 11.6, 12.1, 12.5): reducción y eliminación de los impactos en el ambiente y la sociedad debidos a generación y gestión de residuos.
11. Producción y consumo sostenible (metas 6.4, 6.5, 7.3, 8.2, 8.4, 9.2, 9.4, 11.3, 12.1, 12.2, 13.a, 15.1): uso y gestión de recursos de manera efectiva y sostenible.
12. Aceptar la responsabilidad común pero diferenciada (metas 8.4, 12.1): tomar responsabilidad de las consecuencias de nuestras acciones, considerando la capacidad de acción y el nivel de incidencia.
13. Innovación y responsabilidad social (metas 5.5, 7.a, 8.2, 8.4, 9.5, 12.1, 12.6, 12.8, 13.a, 17.6, 17.7, 17.16): promoción de alianzas, trabajo cooperativo, desarrollo tecnológico, divulgación y transferencia tecnológica, así como fomento a las actividades de investigación y desarrollo., todo bajo el marco de la sostenibilidad y perspectiva de género.

Se realizaron los siguientes cambios. El grupo 7. Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables, al ser un tema que debe abordarse en cada una de las actividades se elimina y se integra como un eje principal en todos los grupos donde sea aplicable. Después, se tomó el principio 10 de diseño sostenible para formar un grupo nuevo, dado que no es considerada de manera directa por ninguno de los grupos de los ODS. Finalmente, se removió el grupo 12 de los ODS: Aceptar la responsabilidad común pero diferenciada y el principio de diseño sostenible 13, debido a que se considera que ya está implícito el mensaje de responsabilidad en los demás grupos, puesto que invitan a realizar acciones para corregir y eliminar los daños y consecuencias del diseño en el medio ambiente y la sociedad. En el cuadro 4.3 se muestra la correspondencia entre los 13 principios de desarrollo sostenible y los grupos identificados en los ODS.

Cuadro 4.6 Correspondencia entre los 13 principios de desarrollo sostenible y los grupos identificados en los ODS.

Principio de diseño sostenible	grupo de ODS correspondiente	
1) Maximizar la eficiencia del uso de masa, energía, tiempo y espacio en todo el ciclo de vida del producto.	11	4
2) Maximizar las entradas y salidas saludables en todo el ciclo de vida del producto.	11	8
3) Cambiar de la venta de bienes, al ofrecimiento de servicios.	4	
4) Preferir recursos y energías renovables.	11	4

5) Eliminar el desecho, cumplir la necesidad.	11	4
6) Elegir y promover procesos bajo condiciones justas para los trabajadores y comunidades involucrados.	1	
7) Promover la retención del valor, así como la durabilidad técnica y estética.	11	10
8) Diseñar para la integración del producto y sus procesos asociados a los flujos sustentables existentes de energía y materiales.	11	10
9) Diseñar para una vida futura rentable.	11	10
10) Adoptar un pensamiento de sistemas/pensamiento sistémico.	Grupo nuevo	
11) Insistir en los derechos de coexistir de la humanidad y la naturaleza.	3	
12) Buscar la mejora constante compartiendo conocimiento y fomentar la creación de redes y alianzas.	13	
13) Aceptar la responsabilidad del diseñador.	Descartado	

Finalmente, se obtuvieron 12 grupos que integran los principios de diseño sostenible y las metas de los ODS para el desarrollo de un instrumento de diseño sostenible.

- | | |
|--|--|
| 1) Condiciones de trabajo | 7) Gestión de emisiones |
| 2) Conservación del patrimonio cultural | 8) Gestión de productos químicos |
| 3) Conservación de los ecosistemas y su diversidad | 9) Gestión de residuos |
| 4) Crecimiento sostenible | 10) Producción y consumo sostenible |
| 5) Diseño con perspectiva de género | 11) Innovación y responsabilidad social |
| 6) Diseño incluyente | 12) Adopción de un pensamiento de sistemas |

4.5 Desarrollo de un instrumento de diseño sostenible

Para utilizar los 12 grupos anteriormente identificados en el proceso de diseño, se requiere de un instrumento que las integre y facilite su uso. Como se mencionó en los capítulos iniciales, la innovación y la sostenibilidad son implementados en las etapas iniciales de un proceso de diseño, mediante las decisiones concernientes al diseño del producto (Schöggl et al., 2017; Telenko, 2009; von Geibler et al., 2019). Estas decisiones moldean el desempeño sostenible, pero en esta etapa, la información sobre el producto y los recursos disponibles no son suficientes análisis cuantitativos como el de ciclo de vida (Telenko, 2009; von Geibler et al., 2019). Es en estas etapas iniciales donde generar conciencia sobre los distintos problemas de la sostenibilidad existentes en el problema de diseño abordado, así como las consecuencias sostenibles de las decisiones tomadas se puede lograr mediante el uso de instrumentos como las listas de verificación (Schöggl et al., 2017; von Geibler et al., 2019).

Para el desarrollo de una lista de verificación que integre los 12 grupos desarrollados se desarrollaron preguntas que hagan referencia a los temas y los subtemas identificados. Cada una de las preguntas aborda los temas en específico de cada uno de los 12 grupos, de manera que pueda identificarse una línea de acción que invite al diseñador a tomar conciencia y actuar sobre el tema.

Para los usuarios de la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles se definieron los siguientes apartados mostrados en la figura 4.2.

Lista de verificación para diseñar productos sostenibles	
Justificación: Hoy en día, pasamos de estar ante una amenaza climática a una crisis, y dicho en palabras de Tracy Bhamra: "no estamos sugiriendo que el diseño tenga la responsabilidad completa de ser esa bala de plata que puede resolver todos los problemas del cambio climático, pero ciertamente el diseño tiene un papel muy importante, trabajando en conjunto y/o en paralelo con otros sistemas sociales impactando (incluso manipulando) sistemas políticos y económicos".	
Objetivo: La herramienta tiene como objetivo ser una guía para crear conciencia e implementar herramientas de diseño sostenible en el desarrollo de productos. Está dirigida a participantes del proceso de diseño y desarrollo de productos.	
Descripción: La lista de verificación consta de 12 grupos y 41 preguntas, obtenidas de distintos principios de diseño sostenible y los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, con un tiempo de llenado de 15 minutos aproximadamente. Al final del documento, se encuentra un gráfico radial que muestra el perfil sustentable del producto. El perfil sostenible indica, por grupos, tres niveles de implementación de la sostenibilidad en el diseño y desarrollo del producto.	
Instrucciones: Selecciona el intervalo que corresponda, según tu percepción, qué tanto conocimiento y/o qué tanto se ha considerado e implementado en el proceso de diseño los lineamientos y temas abordados por las preguntas. Al final, revisa por grupo la interpretación de tu resultado.	
Nombre del proyecto	
Breve descripción del propósito del producto:	

Figura 4.2 Apartados mostrados al inicio de la lista: Justificación: busca reforzar la urgencia de atacar la crisis climática y dejar en claro que el diseño es parte de la solución; Objetivo: crear conciencia e implementar estrategias de diseño sostenible en el proceso de diseño; Descripción: describe brevemente la composición de la lista de verificación, y el tiempo aproximado de llenado; Instrucciones para su uso; apartado para introducir el nombre del proyecto; y finalmente un apartado para proporcionar una breve descripción del propósito del producto, de manera que al redactarlo y tenerlo presente los diseñadores lo usen como delimitación para el uso de la lista de verificación.

Para dar la característica de accionable, cada una de las preguntas hace referencia a alguna característica del producto o los procesos que involucran su desarrollo, de manera que se puedan abordar desde el proceso de diseño. Así mismo, la estructura de las preguntas busca que los diseñadores conozcan e implementen estrategias e instrumentos de diseño. Con estas características antes mencionadas, se elaboraron 44 preguntas distribuidas como se muestra en la figura 4.3. Las preguntas se encuentran en el anexo 2.

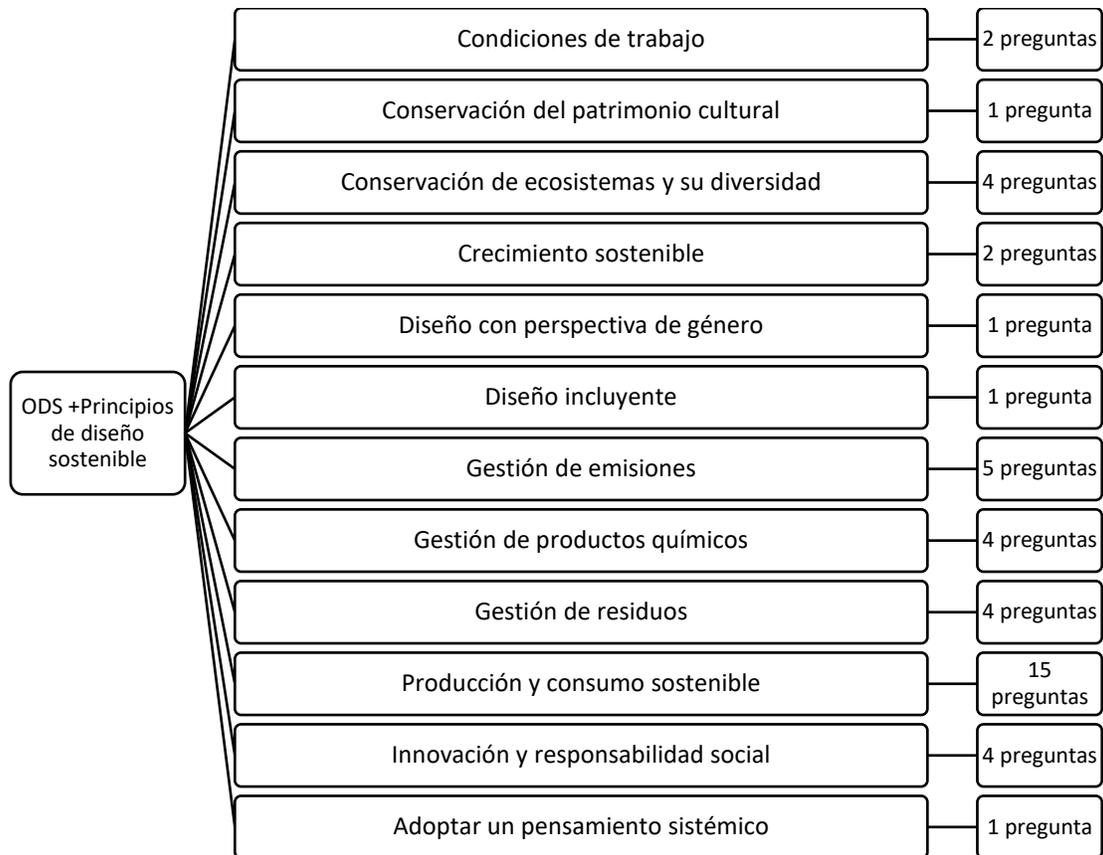


Figura 4.3 Relación entre los 12 grupos y las preguntas creadas para la lista de verificación de desarrollo sostenible. El número de preguntas se deben al criterio e interpretación del autor, no reflejan ni la complejidad o la relevancia de cada grupo. Algunos temas relevantes de la sostenibilidad se encuentran abordados en distintos grupos, por ejemplo, el caso de la inclusión de las mujeres y grupos vulnerables tanto en el proceso de diseño como en los procesos a lo largo del ciclo de vida del producto se encuentra presente en los grupos: innovación y responsabilidad social, diseño incluyente, diseño con perspectiva de género y condiciones de trabajo.

Para evaluar las 44 preguntas y poder guiar a los diseñadores en el proceso, se eligió una escala de 3 puntos ya que, al igual que una escala de 2 puntos, se mantiene la simplicidad, y permite relacionar los 3 puntos con los 3 niveles de mejora definidos por el autor para promover la acción en la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles mostrados en la figura 4.4 Cada uno de los niveles de mejora se describen de la siguiente manera:

- Conoce: Identifica en las preguntas el o los temas principales e investiga acerca de su contexto y su relación con el diseño, incluyendo las tendencias en instrumentos sostenibles.
- Aplica: Investiga acerca de los instrumentos sostenibles y aplícalas en el proceso de diseño. Las preguntas pueden ser usadas como requerimientos o estrategias de diseño sostenible.
- Mejora: Establece metas considerando cada grupo y sus temas abordados buscando la mejora continua.

Desconocimiento del tema/ consideración e implementación nula 0-39%	Poco conocimiento, consideración e implementación 40-79%	Conocimiento, consideración e implementación adecuada 80-100%
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 4.4 Casillas implementadas en la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles. Cada uno de los tres puntos tienen asignados porcentajes, los primeros dos en intervalos de 40% y el final de 20%. La puntuación de la lista tiene como tope el 90% para reforzar la búsqueda de la mejora continua. El primer punto corresponde al desconocimiento y a la falta total de implementación de lineamientos sostenibles; el segundo punto hace referencia a casos donde se han implementado algunos principios o instrumentos de diseño sostenible, sin embargo, requieren de apoyo para contemplar otras cuestiones en el diseño o para conocer más instrumentos o problemáticas del diseño sostenible; finalmente, el tercer punto contempla los casos de diseño donde se aborda de manera holística la sostenibilidad, siendo muy pocas cuestiones las no consideradas respecto a los tres pilares.

Los grupos se evalúan mediante el promedio de la calificación establecida en cada una de las preguntas pertenecientes a dicho grupo, mediante las casillas de tres puntos, para representar que cada una de las preguntas, al igual que grupos, son igual de relevantes. Las tres casillas tienen mostrados intervalos de valores, pero su valor real para su representación es el valor medio de cada intervalo, ya que lo que se busca es ligar con un nivel del proceso para la acción en la lista de verificación. Por ejemplo, la casilla correspondiente al intervalo 0-39% tiene asignado el valor de 20, la casilla con el intervalo 40-79% tiene asignado el valor de 60, y la tercera casilla con el intervalo de 80-100% tiene un valor de 90. En la figura 4.5 se puede observar un extracto de la lista de verificación.

1. Condiciones de trabajo	Desconocimiento del tema/ consideración e implementación nula 0-39%	Poco conocimiento, consideración e implementación 40-79%	Conocimiento, consideración e implementación adecuada 80-100%
1.1 ¿se tiene conocimiento si los recursos y componentes usados en el producto, así como sus procesos asociados a lo largo de su ciclo de vida promueven para los trabajadores y comunidades involucradas las siguientes características?			
condiciones justas de trabajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la eliminación del trabajo forzado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la eliminación de la esclavitud y trata de personas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la eliminación del trabajo infantil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la inclusión de mujeres y grupos vulnerables de la sociedad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 4.5 Extracto de la lista de verificación desarrollada. Se muestra en el encabezado el título del grupo, seguido de la pregunta y las cuestiones a evaluar.

Finalmente, para mostrar los resultados, se eligió una gráfica radial, de manera que se muestre el perfil sostenible del producto. Mediante este perfil que se muestra en la figura 4.6 se puede identificar las áreas de mejora respecto a los 12 grupos de los ODS y los principios de diseño sostenible, así como permitir la comparación entre perfiles de distintos conceptos para la toma de decisiones.

Perfil sostenible del producto

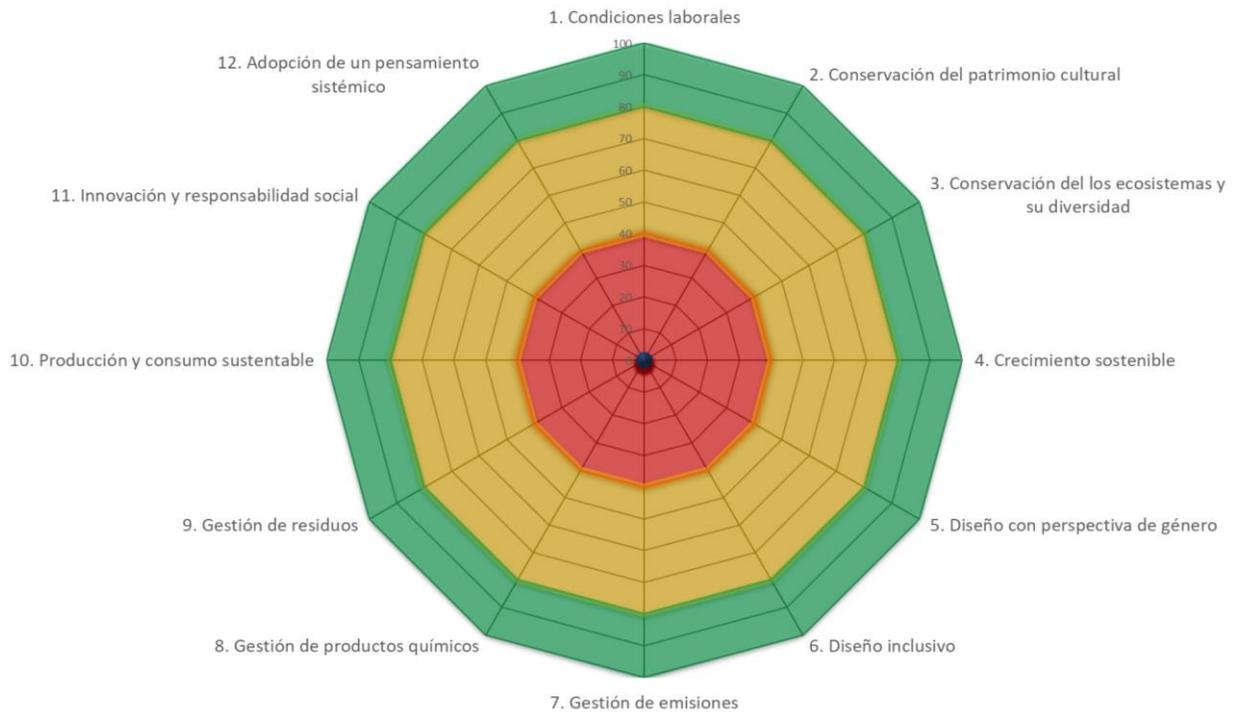


Figura 4.6 Perfil sostenible del producto. Muestra los 12 grupos provenientes de los ODS y los principios de diseño sostenible, ubicados de un gráfico radial. Los colores indican intervalos que corresponden a los niveles del proceso iterativo de acción para la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles. El color rojo (0-39%) corresponde al nivel conoce, el color amarillo (40-79%) al nivel aplica, finalmente, el color verde (80-100%) corresponde al nivel de mejora.

Posteriormente, la lista de verificación para el diseño sostenible se probó en el centro de diseño mecánico e innovación tecnológica (CDMIT) de la UNAM en 10 voluntarios, todos con perfil en ingeniería, donde se encuentran participando en distintos proyectos con objetivos de investigación, implementación y transferencia a la industria. La prueba se hizo con el objetivo de conocer cuál era la percepción de los usuarios, e identificar áreas de mejora. A los participantes se les envió la lista de verificación y se les indicó que no se requería de conocimientos previos para su uso para ser aplicada en el proyecto que participan en el CDMIT. Al finalizar su aplicación, se les pidió que dieran su opinión sobre la lista de verificación.

La lista de verificación para el diseño de productos sostenibles tuvo una valoración favorable en general. Hubo consenso por parte de los participantes en que el instrumento cumple con el propósito de evaluar el conocimiento, generar conciencia sobre las múltiples variables que se deben contemplar en el diseño y ampliar la visión sobre la sostenibilidad, introduciendo nuevos conceptos y perspectivas, así como entender la

complejidad intrínseca del tema. De igual manera, los participantes mencionaron que la lista de verificación puede ser usada en las etapas iniciales, o incluso previas para “poner a todos los participantes en el mismo canal y generar el interés por conocer de qué manera impactará el producto a diseñar”. Algunos mencionaron que la lista podría ser útil a lo largo del proceso de diseño para evaluar el nivel de conocimientos del equipo sobre la sostenibilidad en el diseño del producto, así como “mostrar los aspectos a reforzar en el diseño del producto”.

Entre los aspectos positivos que se mencionaron de la lista de verificación se encuentran los apartados de descripción y el objetivo del producto, ya que varios participantes mencionaron que son referentes importantes para evaluar al producto. El gráfico radial que muestra el perfil sostenible del producto se percibe fácil de interpretar los resultados, además de mostrar los logros en el aspecto sostenible del producto. Así mismo, la estructura de la lista de verificación apoya a visualizar y contemplar el ciclo de vida del producto. La lista se percibe como completa, al considerar múltiples aspectos, sobre todo, en la dimensión social.

Respecto a las oportunidades de mejora, se mencionó que la lista contenía grandes cantidades de texto, que podría ser cansado contestarla dada la cantidad de preguntas en algunas secciones. Los apartados introductorios se perciben poco concisos, algunos participantes comentan que la longitud del texto podría restarle claridad. Algunas preguntas se encuentran fuera del dominio del diseño, o muy difícilmente tienen acceso a esa información, comentan algunos participantes.

Finalmente, como un aspecto a explorar, se observaron los distintos resultados que puede tener el perfil sostenible para el mismo proyecto, en este caso como se muestra en la figura 4.7 los tres perfiles obtenidos para el proyecto “Cekó”, que se describe como “un w.c. con la capacidad de ahorro del 90% en comparación con los productos tradicionales”. Si bien en el en algunos puntos los participantes coinciden (apartados 5. Diseño con perspectiva de género y 10. Producción y consumo sostenible), coincide con los comentarios emitidos por los participantes, que fueron lineamientos que se consideraron desde el inicio del proyecto. En los apartados donde se difiere más, los participantes mencionaron que bien funciona como un ejercicio de reflexión si se desconocían los datos, o como en el caso de gestión de emisiones, se responde a partir de lo que se conoce. Esto reforzando uno de los objetivos de la lista de verificación, que busca generar conciencia sobre temas sostenibles en el proceso de diseño de productos.

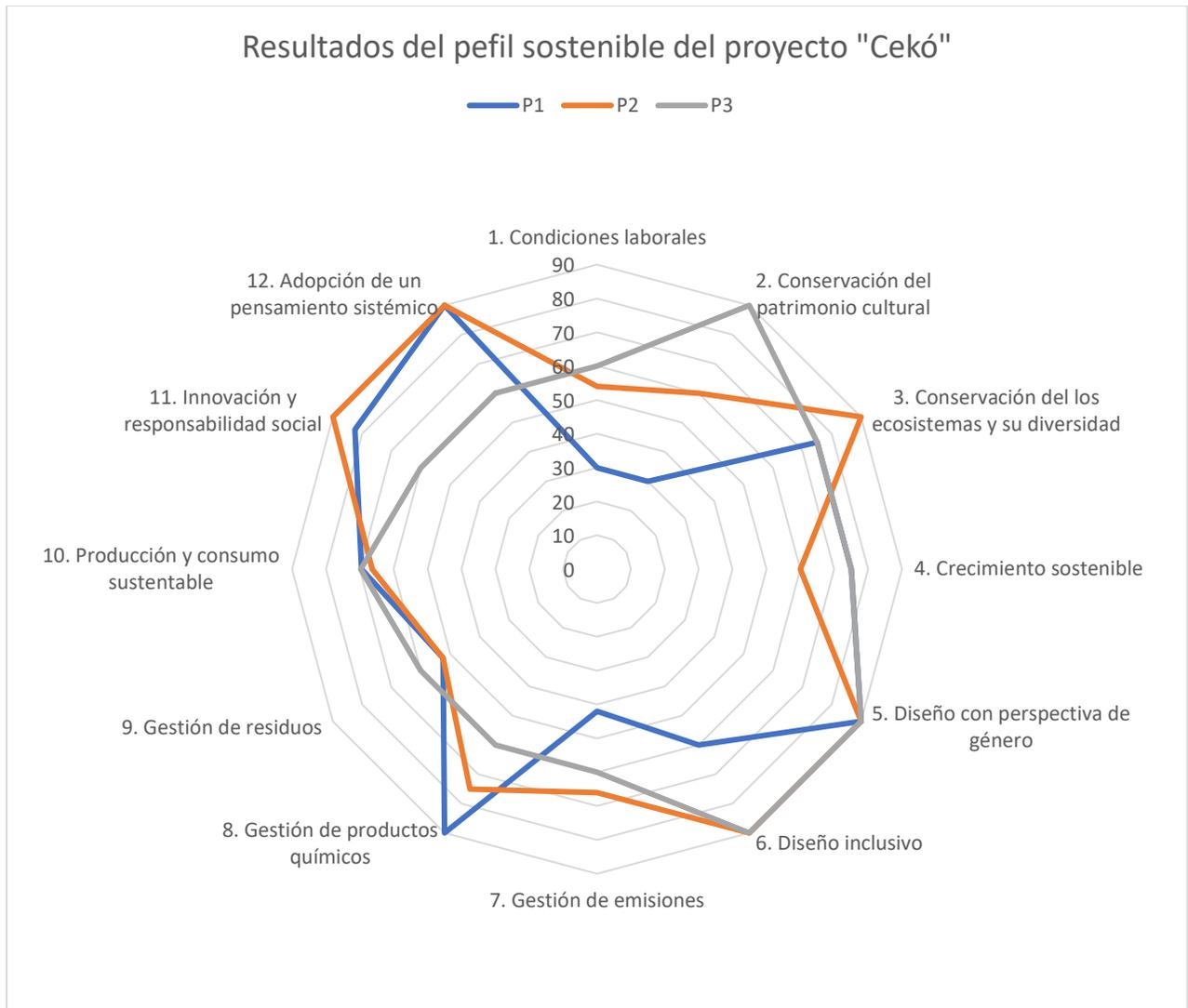


Figura 4.7 Perfiles sostenibles obtenidos para el proyecto "Cekó" de tres participantes.

A partir de las pruebas realizadas y los comentarios obtenidos, se realizaron los siguientes cambios en la lista de verificación. El primer cambio consiste en la introducción de un apartado de conocimiento previo. Ya que se busca que pueda ser implementada en usuarios con poco conocimiento sobre sostenibilidad. Los temas incluidos son los siguientes:

- Definición de sostenibilidad.
- Relación entre diseño y sostenibilidad.
 - Costo comprometido, impactos sostenibles acumulados y establecidos y libertad en la toma de decisiones.
 - La importancia de generar cambios conceptuales en estrategias para el diseño de productos sostenibles y su relación con la innovación.
- El diseño sostenible como un conjunto de metodologías de diseño y perspectivas.

- El ciclo de vida de un producto.
- Algunos conceptos clave como: residuo, infraestructura sostenible, saludable para el ambiente y para el ser humano, emisión y producto químico.
- Los ciclos tecnológico y natural para el flujo de recursos a lo largo del ciclo de vida del producto.
- La estructura de la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles y una breve descripción de los 12 grupos que la componen.

Estos temas se incluyeron en una pestaña previa a la lista de verificación como se muestra en la figura 4.8.

Estructura de la lista de verificación

Se compone de 12 grupos provenientes de los ODS y principios de diseño sustentable.

Cada grupo es igual de importante, y se encuentran interrelacionadas a distintos niveles. Estos grupos se abordan en la lista de verificación mediante preguntas con opciones múltiples según su conocimiento, implementación y consideración en el proceso de diseño.



Figura 4.8 Extracto del apartado incluido en la lista de verificación. En la figura se muestran los 12 grupos provenientes de la compilación de principios de diseño sostenible y los ODS. La información viene compuesta por figuras, referencias que lo acompañan y una breve descripción. Al inicio del apartado de información previa, se menciona que es información introductoria, y que se recomienda ahondar sobre los temas presentados a lo largo del proceso de diseño para una mejor comprensión.

Los cambios realizados en la lista de verificación son los siguientes:

- Las preguntas cambian de una estructura de pregunta hacia la forma de enunciado para facilitar su entendimiento, reducir su extensión y funcionen como lineamientos para el diseño del producto.
- Se reduce el número de enunciados, tal que, de 44 preguntas, finalmente se obtienen 32 enunciados. Algunas de las simplificaciones se obtienen de cambiar la estructura del enunciado por una donde se listen criterios específicos. Esto con el

propósito de simplificar y resumir la información, tal como se muestra en la figura 4.9, donde de un solo enunciado se desprenden 5 criterios.

- Los niveles de las casillas de evaluación cambian como se muestra en la figura 4.9, donde se simplifican para mostrar las opciones: *no se cumple*, *en desarrollo* y *se cumple*.
- Se añadieron las recomendaciones para la integración de instrumentos sostenibles en el proceso de diseño desarrolladas en los apartados anteriores.

			No se cumple	En desarrollo	Se cumple	
1. Condiciones de trabajo	1.1	a lo largo del ciclo de vida, la extracción de recursos y la fabricación de componentes del producto , así como sus procesos industriales asociados , promueven para los trabajadores y comunidades involucradas .	condiciones justas de trabajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
			la eliminación del trabajo forzado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
			la eliminación de la esclavitud y trata de personas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
			la eliminación del trabajo infantil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
			la inclusión de mujeres y grupos vulnerables de la sociedad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 4.9 Extracto de la lista de verificación. Se muestra la parte correspondiente al grupo 1: condiciones de trabajo. El enunciado comienza haciendo referencia al ciclo de vida del producto, para mantenerlo presente en la mente del diseñador, seguido de frases resaltadas que son relevantes para el tema. Luego se divide en secciones donde, de manera más detallada, se desglosan características a cumplir.

Una vez realizados los cambios, se envió la lista de verificación a alumnos y profesores colaboradores del CDMIT, ingenieros mecánicos, mecatrónicos, industriales y eléctricos, así como diseñadores industriales, donde se les pedía que revisaran la lista y contestaran un formulario como se muestra en el anexo 3 con el objetivo de conocer la percepción sobre la lista, identificar áreas de mejora y virtudes. Se obtuvieron 20 respuestas.

En el formulario se incluye una pregunta de control, para identificar qué tanto los participantes conocían sobre la sostenibilidad antes de usar la lista de verificación. Esto con el objetivo de encontrar relaciones entre las respuestas dadas y su conocimiento en el tema.

Respecto a la pregunta ¿Qué cambios harías sobre la lista de verificación? se obtuvieron los siguientes comentarios:

- Simplificar o acortar los enunciados.
- Introducir opción "se desconoce" o "no aplica" según sea el caso.
- Resaltar que la lista está enfocada a productos de escala industrial.
- Mostrar la relación entre los 12 grupos de la lista de verificación y los ODS que buscan resolver.
- Incluir ejemplos en algunos lineamientos (1.1, 2.1, 6.2, 7 y 10.2) para facilitar su entendimiento.

Así mismo, se menciona que se percibe completa en el contenido de la lista de verificación, además que resulta ser intuitiva en su uso.

En la siguiente pregunta, sobre los temas que consideran relevantes y no se encuentran presentes, el 30% de los participantes mencionaron que perciben la lista detallada y completa. Estos participantes tienen un promedio de 5.8 en una escala de 7, siendo que 1 representa nulo conocimiento y 7 mucho conocimiento sobre sostenibilidad. Por otro lado, los demás participantes mencionaron que podría profundizarse en la dimensión económica del producto, haciendo referencia a aspectos de financiamiento, políticas de importación, elecciones de fuentes sostenibles de materia prima o en otros países, así como beneficios en el costo al preferir las fuentes renovables o los impuestos relacionados con los recursos no renovables. La dimensión social también puede ser profundizada, particularmente en los aspectos de igualdad de género, inclusión de grupos vulnerables en la población, específicamente las personas con discapacidad mencionaron otros. La pobreza también fue mencionada como un tema que podría profundizarse en la lista de verificación.

Respecto a apartados en particular, los participantes mencionaron al reciclaje como un tema que puede ser desglosado a detalle, en temas como el aprovechamiento de residuos de producción, la re inserción de materiales al ciclo tecnológico una vez terminada su vida útil, y la capacidad de reciclaje de los componentes y del producto. Así mismo, se mencionaron los enfoques de diseño para el mantenimiento, reparación, mejora en la durabilidad, para el uso intenso, y para la manufactura esbelta. En las características directas del producto, se listaron especificar el tipo de energía a usar (térmica o eléctrica), la inclusión de la logística inversa, la protección de la vida animal, la atención a las etapas de validación de las propuestas, específicamente en las pruebas realizadas en el producto y las emisiones generadas por estos procesos, y especificar el uso de materiales y procesos sostenibles en el producto como parte de sus características.

De los comentarios anteriores, se identifica la necesidad de especificar y ahondar en algunas temáticas. Particularmente en la elección de fuentes sostenibles de materia prima, se encuentra implícita la búsqueda de la mejora en costo en el concepto sostenible. Si bien el apartado 9 Gestión de residuos habla de buscar mecanismos de fin de vida adecuados, estrategias de reintroducción, promoción del desensamble para el reúso de componentes y materia prima, la invitación a la búsqueda de modelos de negocios que tengan como propuesta de valor, el reciclaje no se especificó inicialmente para promover la búsqueda de soluciones para el problema de reintroducir recursos tecnológicos a su ciclo. Del formulario, se identifica que podría facilitar la comprensión y reflexión hacer mención del reciclaje como proceso en la gestión de residuos.

Lo mismo ocurre con el apartado 10 Producción y consumo sostenible, donde los participantes hacen referencia a características sostenibles del producto ya mencionadas en la lista de verificación, pero haciendo uso de distintos términos. El desglose y detalle de temas como el uso de materiales y procesos sostenibles, así como la mención de

enfoques como el diseño para la manufactura esbelta pueden facilitar el uso de la lista de verificación.

En la pregunta ¿Consideras suficiente la información mostrada en el apartado "información previa" para usar la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles? El 75% de los participantes mencionaron que consideran al contenido suficiente, que contiene los conceptos básicos para usar la lista de verificación y la perspectiva general aunado a las gráficas y diagramas ayudan a su comprensión. Como sugerencias y mejoras:

- Presentar la información previa de una manera más gráfica y sintetizada para su fácil lectura.
- Simplificar:
 - Los gráficos que muestran la relación entre costo comprometido, conocimiento sobre el problema de diseño y los impactos ambientales acumulados y establecidos a lo largo del proceso de diseño.
 - Los gráficos de los ciclos tecnológico y natural.
- Incluir:
 - Sección que explique el grupo 12 adopción de un pensamiento de sistemas y sus diferentes acercamientos, así como su inclusión en el apartado de "recomendaciones" de la lista de verificación.
 - Sección que profundice sobre los tres pilares de la sostenibilidad.
 - Concepto de logística inversa.
 - Relación entre los ODS y los 12 grupos que componen la lista de verificación.

Al pedir a los participantes que dieran su opinión sobre si consideraban claro el gráfico radial para presentar resultados, todos consideraron que sí, describiéndolo como claro, gráfico, intuitivo. A su vez se menciona que el gráfico, con los colores y los números, ayuda a visualizar de manera rápida dónde se encuentra el producto respecto a la sostenibilidad, y refuerza la idea de mejorar al producto. Como sugerencias se menciona el uso de íconos para mejorar la visualización y aclarar si cada rubro debe cumplirse siempre y si la ponderación es igual para cada uno de ellos.

En la figura 4.10 se muestran los resultados a la pregunta ¿consideras que la lista de verificación es útil para generar conciencia sobre los temas y variables que contempla la sostenibilidad en el diseño? A los participantes se le pidió contestaran la pregunta mediante una escala del 1 al 7, siendo el uno la opción "nada útil" y el 7 "muy útil", mostrados en la gráfica por las barras azules. Los números del 1 al 3 no se muestran debido a que ningún participante optó por esas opciones. La línea de tendencia de color naranja muestra la calificación promedio que se dieron los participantes sobre su nivel de conocimiento sobre sostenibilidad.

Como se muestra, 15 de 20 participantes consideraron que la lista es muy útil para generar conciencia sobre la sostenibilidad en el diseño y sus implicaciones en el producto, 2 participantes eligieron la opción 6, 2 la opción 5 y 1 la opción 4. Como se muestra en la línea de tendencia naranja, el promedio se encuentra cercano a 5, que indica un nivel por encima de conocimiento sobre el tema. Particularmente, la opción 7, que muestra el cumplimiento del objetivo de la lista, cuenta con participantes con distintas percepciones de conocimiento sobre la sostenibilidad (de 2 a 7, de poco a mucho conocimiento). Comparando los resultados en la gráfica de la figura 4.10 con los comentarios obtenidos, se muestra que los participantes encontraron la lista útil, sencilla de usar, pero con oportunidades de mejora a la hora de aplicarla, como la simplificación. En general, mencionado por varios participantes, es un buen ejercicio de reflexión y desarrollo de conciencia del tema.

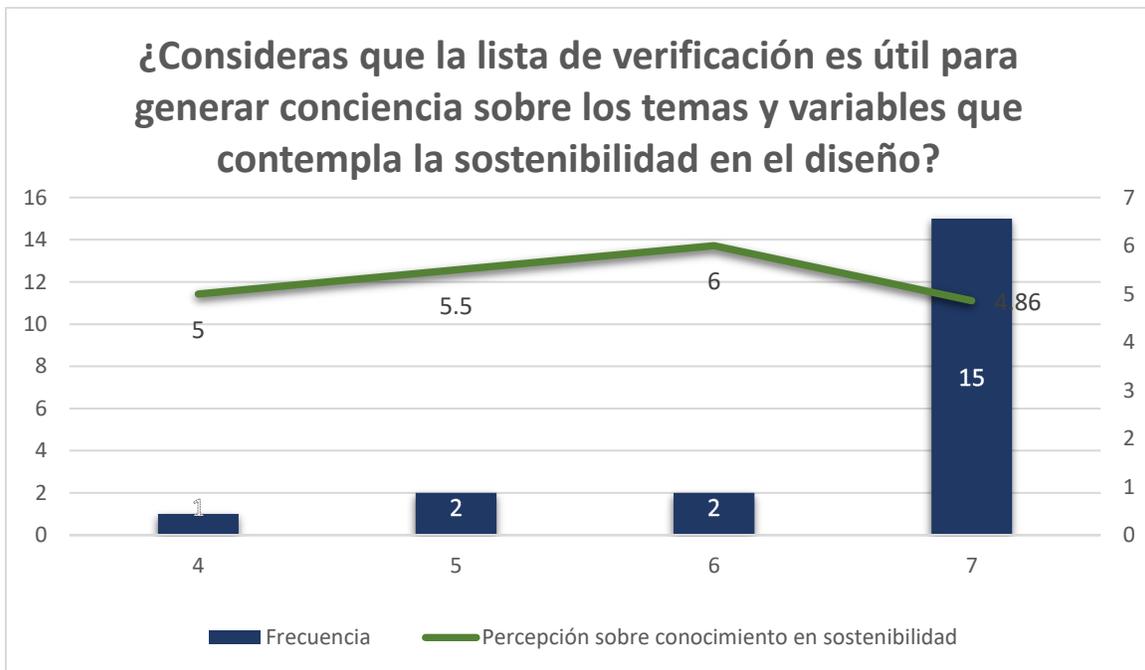


Figura 4.10 Relación entre la percepción de conocimiento sobre sostenibilidad y la utilidad de la lista de verificación para generar conciencia.

De la misma manera, para evaluar la utilidad de la lista para implementar instrumentos y herramientas sostenibles en el proceso de diseño, se pidió a los participantes evaluar mediante una escala del 1 al 7 como la usada en la pregunta anterior. Se omiten los números del 1 al 3 debido a que ningún participante optó por estas opciones en la escala. En la figura 4.11 se muestra la gráfica, donde la frecuencia de las respuestas se encuentra representada por las barras azules, y la línea de tendencia naranja representa el promedio de la percepción sobre el conocimiento en sostenibilidad de los participantes.

En la gráfica de la figura 4.11 se observa que, a diferencia de la pregunta anterior, las respuestas de los participantes se encuentran distribuidas en otras opciones, aún dentro del intervalo de una percepción positiva, indicando que se percibe muy útil (opción 7) por 10 de 20 participantes, pero con oportunidades de mejora respecto al apoyo para la implementación de instrumentos y herramientas sostenibles. Respecto a los comentarios recibidos, algunas recomendaciones no quedan del todo claras sobre cómo usarlas, sobre todo la inclusión de ejemplos se menciona como posible solución. Además, algunos participantes mencionan que podría ser necesario el mencionar dónde encontrar los instrumentos y herramientas sostenibles.

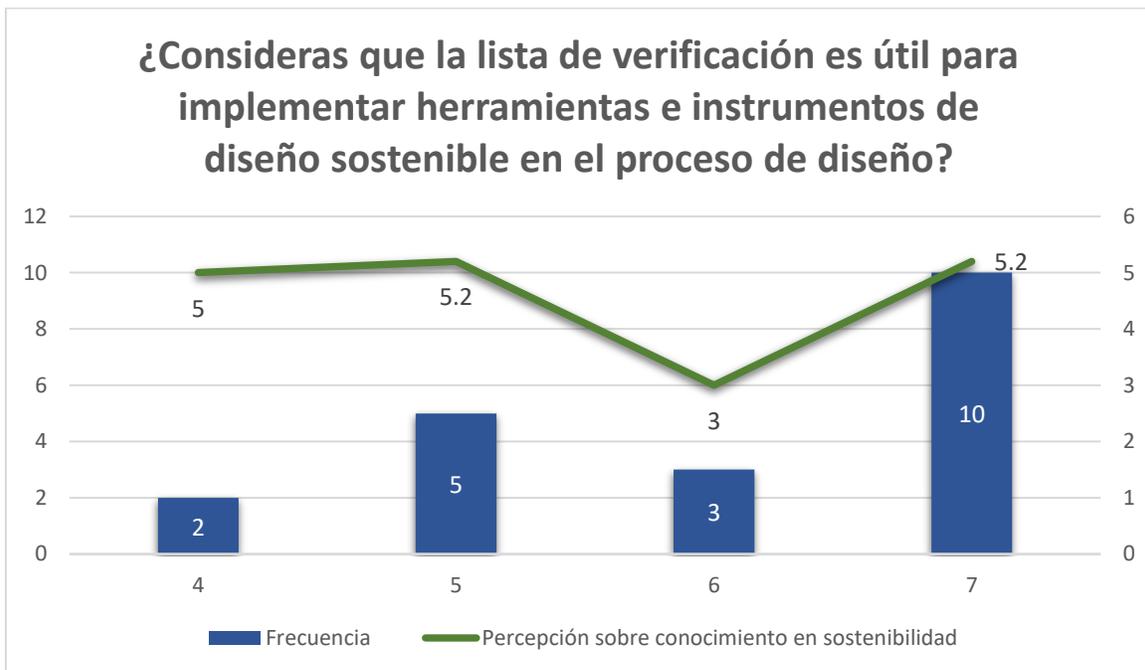


Figura 4.11 Relación entre la percepción de conocimiento sobre sostenibilidad y la utilidad de la lista de verificación para implementar herramientas e instrumentos sostenibles en el proceso de diseño.

Finalmente, tomando como base algunas etapas del proceso de diseño para la innovación de productos (Borja Ramírez y Ramírez-Reivich, 2006), se pidió a los participantes que seleccionaran en cuales etapas consideraban que se podría aplicar la lista de verificación. En la figura 4.12 se muestran los resultados, observando que, en primer lugar, se encuentra la etapa de especificaciones del producto, seguido por la etapa de diseño conceptual y finalmente, identificación de necesidades y diseño de detalle.

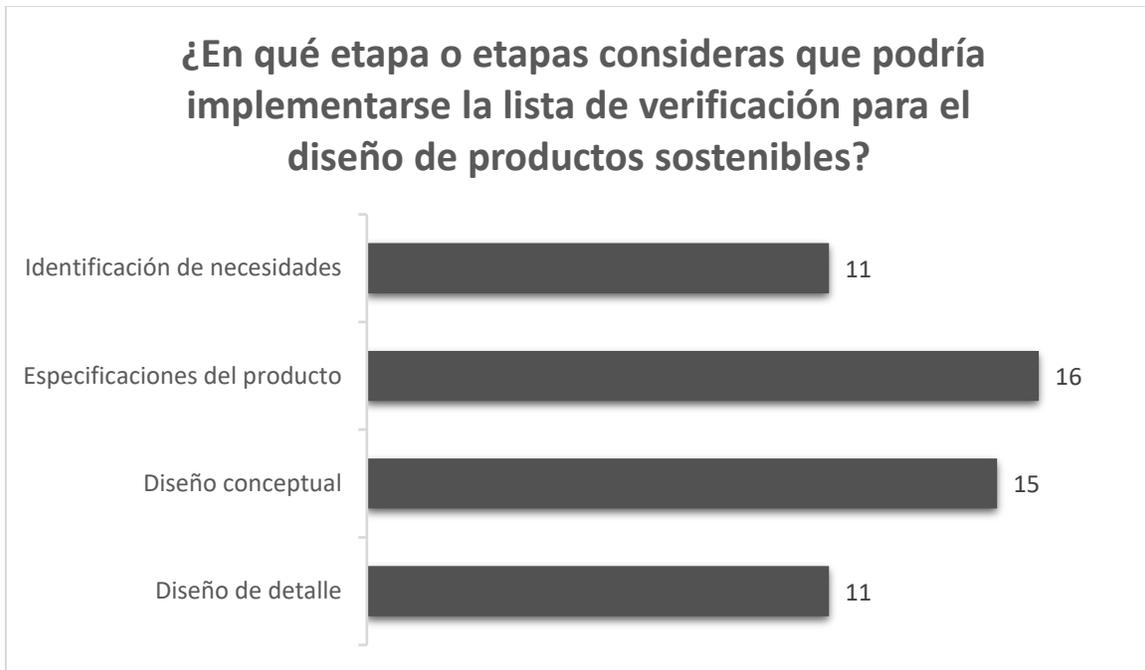


Figura 4.12 Etapas donde podría implementarse la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.

Como comentarios finales, los participantes mencionaron que la lista de verificación es útil para generar conciencia y como un ejercicio de reflexión sobre el tema, puede ayudar a que el diseño del producto se realice hacia un enfoque sostenible, sobre todo en las etapas iniciales para identificar parámetros a considerar en el proceso. Además, puede servir como complemento a herramientas de tipo cuantitativo, y para concientizar en la cantidad de información requerida para la toma de decisiones en el ámbito sostenible. Sin embargo, aún requiere de mayor detalle para ser implementada en la práctica, puesto que los participantes mencionan como barreras su extensión, las concesiones de diseño a resolver entre distintos lineamientos, la falta de información por parte de proveedores e industria, haciendo algunos apartados no puedan ser modificados por los diseñadores, la necesidad de una guía para los diseñadores que no estén tan versados en la sostenibilidad o desconozcan dónde encontrar o cómo utilizar los distintos tipos de instrumentos para el diseño sostenible. En el anexo 4 se encuentra un enlace a la versión final de la lista de verificación.

Si bien la lista tuvo una valoración positiva, es necesario posicionarse con respecto a algunos instrumentos similares. En el cuadro 4.7 se encuentran desglosados 4 instrumentos y la lista de verificación desarrollada en el presente trabajo. Se puede observar que algunos instrumentos, como el caso de la *ecodesign checklist* y *ecodesign web*, donde la simplicidad de la herramienta se debe a las dimensiones de la sostenibilidad consideradas, ambiental y social, y ambiental respectivamente, por lo que al acercarse a un enfoque sostenible tiende a aumentar el nivel de complejidad de los instrumentos. Lo mismo sucede con su nivel de detalle y aplicabilidad, su simplicidad permite ser

implementadas de manera sencilla, aunque pueden requerir de otros instrumentos para complementarse y ser accionable, como el caso de la *ecodesign checklist* (Boeijen et al., 2010), que se complementa con un gráfico radial que indica las estrategias de diseño recomendadas (*ecodesign strategy wheel* y la matriz MET (materiales, energía y toxicidad)).

La cuestión de la simplicidad se ve reflejada en los instrumentos con enfoque sostenible, que a diferencia de los dos instrumentos mencionados anteriormente, requieren de información previa, además de incluir actividades o incluso métodos, como la lista de verificación para la industria automotriz (Schögggl et al., 2017), que hace uso de un marco de trabajo para volver a la lista accionable. En este aspecto, la lista de verificación se encuentra en un punto medio, permitiendo una evaluación cualitativa con poca información, pero el suficiente detalle como para contemplar aspectos relevantes de la sostenibilidad. Aunado a esto, la característica de simplicidad va acompañada de la etapa en el proceso de diseño donde pueda ser aplicado el instrumento, esto se puede observar en la lista de verificación de von Geibler et al. (2019), que es aplicable en las etapas de aprobación y estimación del proyecto, donde aún se busca identificar oportunidades y alternativas. En comparación con la lista de verificación para la industria automotriz de Schögggl et al. (2017), que puede ser usada incluso en algunas actividades de diseño de detalle, pero implica mayor nivel de complejidad, además de personal especializado en sostenibilidad y en el instrumento. Para reducir la complejidad de la lista de verificación desarrollada, se incluyó el apartado de información previa, que aún se percibe como bastante información, los usuarios no reportaron problemas o confusión al usar la lista. El apartado de recomendaciones tiene el propósito de servir como guía para la implementación de distintos tipos de instrumentos, aunque aún faltan algunos elementos, como indicar dónde encontrarlos y de qué manera se complementan para ser útil en usuarios no versados en el tema.

Además del apartado 3. Recomendaciones de la lista de verificación desarrollada, los 32 lineamientos complementan a este apartado, pero indicando características sostenibles deseables en el producto y sus procesos asociados. Al observar y comparar el tipo de recomendaciones que se encuentran en los demás instrumentos, se observa que dependen mayormente del enfoque sostenible adoptado y el tipo de producto al que van dirigidas las recomendaciones. Es decir, entre más se acerque a lo sostenible, y más general sea el tipo de producto que el instrumento vaya dirigido, más general y menos accionable serán las recomendaciones. De la misma manera, los instrumentos pensados para las etapas iniciales poseen información general, ya que se posee poca información y aún no han sido tomadas las decisiones que permitan realizar análisis cuantitativos, por ejemplo, la lista de verificación de von Geibler (2019), al adoptar un enfoque sostenible y creada para las etapas previas al inicio del proceso de diseño, la información disponible permite identificar riesgos y oportunidades de la innovación. Por otro lado, la lista de

verificación desarrollada, creada para las etapas iniciales del proceso de diseño, y al igual que la lista de verificación para la industria automotriz de Schöggel et al. (2017), hacen referencia a las características que el producto y sus procesos asociados deben tener para ser sostenibles.

La lista de verificación desarrollada, a diferencia de los otros instrumentos, no se divide en etapas del ciclo de vida, sin embargo, el pensamiento que lo promueve se encuentra presente en algunos lineamientos que incluyen el cuestionamiento: “a lo largo del ciclo de vida”, o haciendo referencia a alguna característica del producto en alguna de sus etapas (ej.: 9.3: Se promueve el desensamble para el reúso de componentes y materia prima en el producto y sus componentes (incluyendo su empaque)). Un aspecto que se podría explorar en la lista es la inclusión a detalle del análisis de la necesidad, pues si bien en los lineamientos 5.1, 6.1 y 10.4 abordan aspectos de cómo se cumple la necesidad, se puede profundizar como lo hace la *ecodesign checklist*, promoviendo el entendimiento de la necesidad a resolver y su cambio a futuro, que se alinea con lo mencionado en *Cradle to Cradle* (McDonough y Braungart, 2002), donde la estrategia más efectiva para el cambio sostenible es la redefinición de cómo hacemos las cosas.

Cuadro 4.7 Cuadro comparativo entre instrumentos para el diseño sostenible usados en etapas tempranas y la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.

Instrumento	Objetivo	Enfoque	Composición	Etapas del ciclo de vida y propuestas	Método de comparación	Etapas del proceso de diseño donde es aplicable	¿Requiere de información previa para su uso? ¿Cómo se brinda?	¿Incluye recomendaciones o guía?	Usos sugeridos	Desventajas
<i>Ecodesign checklist</i>	Entender y proveer apoyo para el análisis del impacto ambiental del producto.	Ambiental y social.	6 preguntas generales desglosadas en 39 específicas.	Análisis de la necesidad, producción y obtención de materiales y componentes, producción interna, distribución, uso, recuperación y desecho.	Mediante el uso de los instrumentos <i>Ecostrategy Wheel</i> y la <i>MET matrix</i> .	Diseño conceptual, especificaciones del producto.	No especifica	Sí, 8 estrategias desglosadas a 33 estrategias	Apoyo en efectuar análisis de la necesidad y en la generación de opciones de mejora a partir de las preguntas incluidas.	Requiere del uso de otros instrumentos para su aplicación.
<i>Ecodesign web</i>	Evaluar y comparar cualitativamente productos existentes y nuevos conceptos.	Ambiental.	7 áreas consideradas relevantes para el diseño.	Explorar nuevas maneras de hacer cosas, selección de materiales, uso de materiales, distribución, uso, vida óptima, fin de vida.	Mediante un gráfico radial de 5 niveles.	Diseño conceptual.	No especifica.	Sí, mediante palabras y temas relevantes para explorar.	Identificación de áreas de mejora mediante la visualización en el gráfico, comparación de alternativas y productos existentes.	Considera temas que se encuentran fuera del campo de acción del diseñador.

<p>Lista de verificación para el desarrollo sostenible de un producto desarrollado en la industria automovilística</p>	<p>Integrar la perspectiva sostenible en las etapas tempranas del proceso de desarrollo de productos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - facilitar las decisiones sobre las distintas alternativas considerando a la par sus características sostenibles, - habilitar la evaluación de los aspectos sostenibles en las distintas tecnologías automotrices - promover la conciencia en temas sostenibles y el pensamiento de ciclo de vida entre diseñadores e ingenieros. 	<p>Sostenible.</p>	<p>9 categorías desglosadas en 44 preguntas.</p>	<p>Ingeniería, producción, uso, fin de vida.</p>	<p>Mediante una hoja de evaluación generada por la lista, donde muestra por etapa de ciclo de vida, los temas relevantes que se han considerado y que se requieren considerar, así como las tareas definidas y una ponderación que indica el nivel de importancia.</p>	<p>Identificación de necesidades, diseño conceptual.</p>	<p>Sí, mediante talleres introductorios a la sostenibilidad, y facilitadores presentes durante el uso de la lista, para aclarar dudas sobre su funcionamiento y sobre la sostenibilidad en el diseño.</p>	<p>Sí, las subcategorías representan estrategias a implementar en la tecnología evaluada.</p>	<p>Definición de temas por abordar en una reunión. Evaluación de tecnologías para identificar la factibilidad del proyecto. Definición de tareas para ser completadas por el equipo de diseño.</p>	<p>Requiere de expertos en la lista de verificación y en sostenibilidad para obtener buenos resultados.</p>
--	---	--------------------	--	--	--	--	---	---	--	---

Lista de verificación para la integración de los ODS en un proyecto de innovación	Identificar riesgos y oportunidades potenciales de las innovaciones en etapas tempranas.	Sostenible.	17 ODS y 169 metas.	No aplica.	Mediante una escala de 7 opciones: de riesgo, pasando por neutro hasta oportunidad.	Etapas previas al inicio: estimación y aprobación del proyecto. Identificación de necesidades.	No.	Sí, las metas proveen una serie de recomendaciones sobre qué cuestiones se deben contemplar o apoyar al desarrollar la innovación.	Mediante el promedio de las respuestas, identificar al menos 3 ODS y las metas correspondientes, donde se pueda realizar una contribución positiva.	Sin la explicación previa, los ODS pueden ser percibidos como abstractos y sin estructura, además de reducir la motivación de introducirse en el tema para tomar las medidas necesarias para el diseño del producto en cuestión
---	--	-------------	---------------------	------------	---	--	-----	--	---	---

<p>Lista de verificación para el diseño de productos sostenibles</p>	<p>Ser una guía para crear conciencia sobre los temas y las distintas variables que implica la sostenibilidad, así como implantar el uso de estrategias, principios y herramientas de diseño sostenible en el desarrollo de productos. Está dirigida a participantes del proceso de diseño de productos.</p>	<p>Sostenible.</p>	<p>12 grupos y 32 lineamientos.</p>	<p>No aplica.</p>	<p>Mediante un gráfico radial, que muestra los 12 grupos evaluados en 3 niveles: conoce, aplica y mejora.</p>	<p>Diseño conceptual, especificaciones del producto.</p>	<p>Sí, mediante un apartado previo que contiene los temas básicos que sirven de introducción a la sostenibilidad.</p>	<p>Sí, mediante los 32 lineamientos que se encuentran redactados en términos de lo que el producto debe cumplir, además de un apartado de recomendaciones para integrar distintos instrumentos en el proceso de diseño.</p>	<p>Establecer requerimientos a partir de los 32 lineamientos. Servir de guía en el proceso al buscar que se cumplan la mayor cantidad de lineamientos. Evaluar y comparar cualitativamente productos existentes, así como conceptos generados.</p>	<p>Se percibe como extensa, tanto la información previa suministrada como la lista de verificación. Algunos lineamientos requieren de información que no se encuentra disponible para el equipo de diseño, o no puede incidir directamente sobre ellos.</p>
--	--	--------------------	-------------------------------------	-------------------	---	--	---	---	--	---

5. Conclusiones y trabajo a futuro

Se cumplieron los objetivos y alcances del proyecto:

- Se realizó una revisión de distintas fuentes relacionadas con el diseño sostenible y la sostenibilidad en general aplicados en instrumentos para el proceso de diseño, identificando las tendencias y enfoques adoptados para el diseño de productos sostenibles.
- Se recopilaron, analizaron y clasificaron por dimensión de la sostenibilidad abordada y por naturaleza distintos tipos de instrumentos sostenibles, así como su aplicabilidad al proceso de diseño.
- Se desarrollaron recomendaciones, a partir del análisis y clasificación de los instrumentos, sobre como integrarse a un proceso de diseño tradicional en la ingeniería.
- Se proponen 12 grupos que sintetizan la sostenibilidad en el diseño a partir de principios de diseño sostenible relevantes y los objetivos de desarrollo sostenible.
- Se desarrolló una lista de verificación para el diseño de productos sostenibles para facilitar la integración de la sostenibilidad en el proceso de diseño, se identificaron las etapas del proceso de diseño donde mejor se puede aplicar, sus ventajas y desventajas en comparación con algunos instrumentos relevantes.

La creación y modificación de instrumentos sostenibles mostrado por la revisión realizada, indica que, si bien el tema ha aumentado su relevancia, aún queda camino por resolver, sobre todo, lograr involucrar a las entidades restantes que inciden en el cambio, la industria y gobierno, en su desarrollo, aplicación y evolución. Estos, particularmente los 63 instrumentos identificados y clasificados en grupos en la sección 4.2, se deben a la cantidad disponible de información del problema de diseño y del producto, ya que esta va aumentando conforme avanza el proceso de diseño. Al observar los pilares de la sostenibilidad que abordan, los instrumentos de naturaleza cualitativa tienden a contemplar las tres pilares, aunque los instrumentos orientados hacia una naturaleza cuantitativa poco a poco integran las dimensiones económica y social, sobre todo los de reciente creación. Esto se ve reflejado en los 13 principios de diseño sostenible, resultado de la síntesis de algunos de los instrumentos cualitativos relevantes para el diseño, que, a pesar de contemplar los tres pilares, se queda corto en primer lugar para el aspecto social, seguido de la dimensión económica. Por lo que para compensar lo anterior, en el desarrollo de la lista se incluyen a los ODS por su acercamiento holístico a los tres pilares de la sostenibilidad.

Del formulario aplicado a un grupo de 20 participantes, formado por profesores, alumnos de maestría, licenciatura y colaboradores del CDMIT, se concluye lo siguiente:

La lista, o cualquier instrumento sostenible que se use para el diseño de productos debe permitir a los usuarios dar el mínimo soporte para generar conciencia sobre el tema, y a su vez, transformar la información dada por éste para adaptarla al problema de diseño y a la etapa del proceso donde se aplique. Del formulario, 15 de 20 participantes eligió la opción de muy útil para generar conciencia sobre la sostenibilidad, sus implicaciones y variables a considerar en el diseño del producto, los demás participantes optaron por opciones por encima de la media, con comentarios sobre presentar de manera gráfica y breve la información, así como la necesidad de tener un mayor nivel de detalle en los lineamientos de la lista. Éste último comentario plantea el evaluar el medio en que se presenta la lista y sus secciones, siendo un posible trabajo a futuro evaluar distintos medios que permitan adecuarse a las necesidades de los usuarios de la lista de verificación.

Algunos lineamientos requieren de conocimiento previo sobre los términos y conceptos, como el caso del grupo 2) Conservación del patrimonio cultural, que si bien, se incluyó su definición, en la primera prueba de la lista se encontraron discrepancias en las respuestas de miembros del mismo equipo de diseño. Algunos comentarios de sugerencias recomendaban incluir algunos temas que ya se encontraban presentes en la lista de verificación, pero con otro término. Por lo que se recomienda comparar resultados y aclarar términos entre miembros del equipo para que el perfil sostenible represente el estado del producto, de otra manera, el resultado del perfil sostenible refleja el conocimiento del usuario sobre los lineamientos evaluados.

Además, 75% de los participantes consideraron suficiente el apartado de información previa, con comentarios sobre mejorar la brevedad de la información presentada, sin embargo, el apartado de recomendaciones para la integración de instrumentos sostenibles no tuvo el mismo nivel de aceptación, con un 50% de los participantes considerando útil las recomendaciones, y el 50% restante distribuido en puntos por encima de la media de la escala, por lo que se considera su mejora y aplicación como trabajo a futuro. Finalmente, el gráfico que muestra el perfil sostenible del producto se percibió por todos los participantes como una manera clara, gráfica e intuitiva de presentar los resultados de la lista de verificación.

Trabajo a futuro

- Evaluar el medio donde se presenta la lista de verificación para que se adecue a las necesidades de sus usuarios.
- Desarrollar un caso de estudio donde se aplique la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles desde el inicio del proyecto en un entorno colaborativo academia-industria.
- Establecer un protocolo de evaluación de la lista de verificación tomando en cuenta la medición del conocimiento que tienen los participantes sobre la sostenibilidad y las respuestas que proveen.

- Explorar la relación entre las formas de los perfiles de sostenibilidad del producto y explorar su aplicabilidad para la comparación con productos existentes.
- Identificar cómo se complementan los distintos tipos de instrumentos de diseño sostenible, y cómo pueden aprovecharse mejor a lo largo del proceso de diseño, particularmente, cómo complementar la lista de verificación con otros instrumentos de diseño sostenible.
- Desarrollar una guía que indique a los participantes del proceso de diseño dónde encontrar instrumentos de diseño sostenible y cómo aprovecharlos en conjunto.

Referencias

- Ahmad, S., Wong, K. Y., y Rajoo, S. (2019). Sustainability indicators for manufacturing sectors: A literature survey and maturity analysis from the triple-bottom line perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(2), 312–334. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0091>
- Ahmad, S., Wong, K. Y., Tseng, M. L., y Wong, W. P. (2018). Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 132(Octubre 2017), 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.020>
- Anastas, P. T., y Zimmerman, J. B. (2003). Design through the 12 principles of green engineering. En *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es032373g>
- Anastas, P., y Zimmerman, J. (2003). *12 Principles of Green Engineering*. Environmental science & technology. <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-design-principles-of-green-engineering.html>
- Ansys. (2021). *Ansys (CES) Granta EduPack | Software for Materials Education*. <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>
- Azkarate, A., Ricondo, I., Pérez, A., y Martínez, P. (2011). An assessment method and design support system for designing sustainable machine tools. *Journal of Engineering Design*, 22(3), 165–179. <https://doi.org/10.1080/09544820903153570>
- Bhamra, T., y Lofthouse, V. (2007). Design for sustainability: A practical approach. En *Design for Sustainability: A Practical Approach* (First ed.). Gower Publishing Limited.
- Boeijen, A. van, Daalhuizen, J., Zijlstra, J., van der Schoor, R., y Technische Universiteit Delft. (2010). *Delft design guide: Design methods*. TU Delft.
- Borja Ramírez, V., y Ramírez-Reivich, A. C. (2006). *Cuadernos de Gestión de Tecnología - Innovación de Productos* (p. 43).
- Borja, V., Ávila, J., López-Parra, M., Ramírez-Reivich, A., y Espinosa, A. (2014). Sustainability assessment of products: A comparative study of sustainability assessment tools. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1115/IMECE2014-39449>
- Brezet, H., y van Hemel, C. (1997). *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*. UNEP.

- Brink, G., Destandau, N., y Hamlett, P. (2009). Genealogy of the Living Principles. En *AIGA Center for Sustainable Design* (Número October). <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Genealogy+of+the+Living+Principles#1>
- Broman, G. I., y Robèrt, K. H. (2017). A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.121>
- Brundtland, H., y WCED. (1987). *Our common future Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University.
- Buhl, A., Schmidt-Keilich, M., Muster, V., Blazejewski, S., Schrader, U., Harrach, C., Schäfer, M., y Süßbauer, E. (2019). Design thinking for sustainability: Why and how design thinking can foster sustainability-oriented innovation development. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1248–1257. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.259>
- Byggeth, S., y Hochschorner, E. (2006). Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1420–1430. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.03.024>
- Carnegie Mellon University. (2016). *Economic Input-Output Life Cycle Assessment*. <http://www.eiolca.net/>
- CDP Worldwide. (2018). *Home - CDP*. <https://www.cdp.net/en/>
- CEMEX, y ITESM. (2018). *Premio CEMEX-TEC*. https://www.cdcs.com.mx/es/cemextec_award
- COMECYT, y UNAM. (2021). *Premio BLIS - Buscando Líderes en Innovación y Sustentabilidad*. <https://www.blis.org.mx/>
- Conceicao, P. (2020). La próxima frontera: desarrollo humano y el Antropoceno. En *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo(PNUD)*. <http://hdr.undp.org/es/data>.
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2019). *What is Cradle to Cradle Certified™? - Get Certified - Cradle to Cradle Products Innovation Institute*. Cradle to Cradle Certified™. <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>
- Crawford, M., y Di Benedetto, A. (2015). *New Products Management* (11th ed.). McGraw-Hill.
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (4th ed.). John Wiley & Sons.

- Crul, M. R. M., y Diehl, J. C. (2006). *Design for Sustainability: a practical approach for developing economies*. UNEP. <http://www.d4s-de.org/manual/d4stotalmanual.pdf>
- Dassault Systèmes. (2013). *Solidworks sustainability*. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-sustainability>
- Datschefski, E. (1999). *Biothinking -- Truly Sustainable Design*. <https://www.biothinking.com/>
- Elkington, J. (2018). 25 Years Ago I Coined the Phrase: "Triple Bottom Line." Here's Why It's Time to Rethink it. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it>
- Ellen MacArthur Foundation, y IDEO. (2017). *The Circular Design Guide*. <https://www.circulardesignguide.com/>
- Environmental Protection Agency, U., y Star, E. (2017). *ENERGY STAR®. The simple choice for energy efficiency*. <https://www.energystar.gov/>
- EPEA. (2021). *Cradle to Cradle - Rethinking Products - EPEA*. EPEA. <https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle>
- ESI. (2021). *ESI Portal*. <https://www.environmentalshipindex.org/>
- Eurostat. (2003). *A selection of Environmental Pressure Indicators for the EU and Acceding countries*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-59-04-249>
- Fair Trade USA. (2021). *Fair Trade Certified | Fair Trade Certified*. <https://www.fairtradecertified.org/>
- Faludi, J. (2017). *Golden Tools in Green Design: What drives sustainability, innovation, and value in green design methods?* University of California, Berkeley.
- Faludi, J., y Agogino, A. M. (2018). What design practices do professionals use for sustainability and innovation? *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 6*, 2633–2644. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0180>
- Flores-Calderón, A. (2011). *A Proposal of Criteria to Evaluate and Re-Design Sustainable Products*. UNAM.
- FSC. (2021). *Home Page | Forest Stewardship Council*. FSC International. <https://fsc.org/en>
- GAIA. (2021). *A' Design Award and Competition - Green Design Competition*. <https://competition.adesignaward.com/competitions/green.html>
- Geibler, J. von, Echternacht, L., y Behrend, J. (2016). *Methoden im Living Lab: Unterstützung*

der Nutzerintegration in offenen Innovationsprozessen (Entwurf Methodenhandbuch). http://innolab-livinglabs.de/fileadmin/user_upload/Benutzerdaten/Publikationen/INNOLAB_AP22_WI_Methoden_imLivingLab_Juni2016.pdf

Global Reporting Initiative. (2021). *Home*. <https://www.globalreporting.org/>

Goedkoop, M., y Spiensma, R. (2000). Eco-indicator 99 Manual for Designers: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. En *Ministry of Housing*.

Green Electronics Council (GEC). (2021). *EPEAT Registry*. <https://epeat.net/>

Green Product Award. (2021). *Green Product Award*. <https://www.gpaward.com/en/gpaward>

Haapala, K. R., Zhao, F., Camelio, J., Sutherland, J. W., Skerlos, S. J., Dornfeld, D. A., Jawahir, I. S., Clarens, A. F., y Rickli, J. L. (2013). A review of engineering research in sustainable manufacturing. En *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME* (Vol. 135, Número 4). <https://doi.org/10.1115/1.4024040>

Hawken, P., Lovins, A., y Lovins, H. (2021). *Natural Capitalism-Creating the Next Industrial Revolution*. <http://www.natcap.org/>

He, B., Li, F., Cao, X., y Li, T. (2020). Product Sustainable Design: A Review From the Environmental, Economic, and Social Aspects. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 20(4), 1–16. <https://doi.org/10.1115/1.4045408>

Hemdi, A. R., Saman, M. Z. M., y Sharif, S. (2013). Sustainability evaluation using fuzzy inference methods. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(3), 169–185. <https://doi.org/10.1080/14786451.2011.605947>

Herrmann, I. T., y Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? - A comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>

Hildenbrand, J., Srocka, M., y Ciroth, A. (2005). *openLCA.org*. GREENDELTA. <https://www.openlca.org/>

Hoogmartens, R., Van Passel, S., Van Acker, K., y Dubois, M. (2014). Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.05.001>

Hosseinpour, A., Peng, Q., y Gu, P. (2015). A benchmark-based method for sustainable product design. *Benchmarking*, 22(4), 643–664. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2014-0092>

- iPoint-systems gmbh. (2021). *LCA (Life Cycle Assessment) Software / Umberto LCA+*.
<https://www.ifu.com/umberto/lca-software>
- Jaafar, I. H., Venkatachalam, A., Joshi, K., Ungureanu, A. C., De Silva, N., Rouch, K. E., Dillon, O. W., y Jawahir, I. S. (2007). Product Design for Sustainability: A New Assessment Methodology and Case Studies. En *Environmentally Conscious Mechanical Design*.
<https://doi.org/10.1002/9780470168202.ch2>
- Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., y Feng, S. C. (2013). Categorization of indicators for sustainable manufacturing. *Ecological Indicators*, 24, 148–157.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.030>
- Kim, S., y Moon, S. K. (2017). Sustainable platform identification for product family design. *Journal of Cleaner Production*, 143, 567–581.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.073>
- Kroll, E., Condoor, S. S., y Jansson, D. G. (2001). Innovative Conceptual Design. En *Innovative Conceptual Design*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511612923>
- Lewis, H., Gertsakis, J., Grant, T., Morelli, N., y Sweatman, A. (2017). Design + Environment: a global guide to designing greener goods. En *Design + Environment*. Taylor & Francis.
- Lofthouse, V. (2011). *Visual tools for sustainable design education*. (p. 19). Loughborough University. [https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/13176/3/PUB LDS 852 Visual tools for sustainable design education.pdf](https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/13176/3/PUB_LDS_852_Visual_tools_for_sustainable_design_education.pdf)
- LUNAR. (2012). *The designer's field guide to sustainability*.
<http://www.lunar.com/fieldguide.shtml%5Cnhttp://www.lunar.com/home.shtml>
- Maher, R., Maher, M., Mann, S., y Mcalpine, C. A. (2018). *Integrating design thinking with sustainability science : a Research through Design approach*. 6, 1565–1587.
- Manzini, E., y Vezzoli, C. (2008). Design for environmental sustainability. En *Springer*.
<https://doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3>
- Markersite GmbH. (2021). *Product Data Management For The Modern Enterprise - Makersite*. <https://makersite.io/>
- McDonough, W., y Braungart, M. (1992). *The Hannover Principles: Design for Sustainability* (p. 60). William McDonough Architects.
- McDonough, W., y Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (First Edit). North Point Press.
- Melander, L. (2020). Success factors for environmentally sustainable product innovation.

- En *Innovation Strategies in Environmental Science* (Número Goal 9, pp. 33–67). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817382-4.00002-2>
- Meursing, M. (2015). *Idemat App*. <http://idematapp.com/>
- Miranda, J., Pérez-Rodríguez, R., Borja, V., Wright, P. K., y Molina, A. (2019). Sensing, smart and sustainable product development (S3 product) reference framework. *International Journal of Production Research*, 57(14), 4391–4412. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1401237>
- Morbidoni, A., Favi, C., y Germani, M. (2011). CAD-Integrated LCA Tool: Comparison with dedicated LCA Software and Guidelines for the Improvement. En J. Hesselbach y C. Herrmann (Eds.), *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing* (Número July 2015, pp. 569–574). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19692-8_99
- OECD. (2019). *OECD sustainable manufacturing indicators - OECD*. <https://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/oecd-sustainable-manufacturing-indicators.htm>
- Oh, S. (2017). From an ecodesign guide to a sustainable design guide: Complementing social aspects of sustainable product design guidelines. *Archives of Design Research*, 30(2), 47–64. <https://doi.org/10.15187/adr.2017.05.30.2.47>
- ONU. (2021). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible – Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., y Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Papanek, V. (1984). Design For The Real World: Human ecology and social change. En *Thames & Hudson* (1st ed.). Bantam Books. https://monoskop.org/images/f/f8/Papanek_Victor_Design_for_the_Real_World.pdf
- Parisi, M. L., Fatarella, E., Spinelli, D., Pogni, R., y Basosi, R. (2015). Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. *Journal of Cleaner Production*, 108(Part A), 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.032>
- PRé Consultants. (2020). SimaPro | The World's Leading LCA Software. En *simapro.com*. <https://simapro.com/>
- PRé Consultants, Goedkoop, M., y Spriensma, R. (2000). *Eco-indicator 99 methodology report*. 397(February 1999), 16. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4271.3127>
- Robèrt, K. H. (2000). Tools and concepts for sustainable development, how do they relate to a general framework for sustainable development, and to each other? *Journal of*

- Cleaner Production*, 8(3), 243–254. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00011-1)
- Rocha, C. S., Antunes, P., y Partidário, P. (2019). Design for sustainability models: A multiperspective review. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1428–1445. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.108>
- S&P Global. (2021). *DJSI Index Family | S&P Global*. <https://www.spglobal.com/esg/performance/indices/djsi-index-family>
- Salzmann, O., Ionescu-Somers, A. M., y Steger, U. (2005). The business case for corporate sustainability: Literature review and research options. *European Management Journal*, 23(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2004.12.007>
- Schmidt, W. P., y Taylor, A. (2006). Ford of Europe's product sustainability index. *Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, LCE 2006*, 5–10.
- Schöggel, J. P., Baumgartner, R. J., y Hofer, D. (2017). Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1602–1617. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.195>
- Schønheyder, J. F., y Nordby, K. (2018). The use and evolution of design methods in professional design practice. *Design Studies*, 58, 36–62. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2018.04.001>
- Science Based Targets. (2021). *Ambitious corporate climate action - Science Based Targets*. <https://sciencebasedtargets.org/>
- SEAL Awards. (2021). *Most Sustainable Companies In The World Honored At 2019 SEAL Awards*. <https://sealawards.com/sustainability-award-2019/>
- socialab, y Walmart. (2019). *Premio Innovación Sustentable 2019 - Premio Innovación Sustentable*. <http://premioinnovacionsustentable.com/>
- Song, W., y Sakao, T. (2017). A customization-oriented framework for design of sustainable product/service system. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1672–1685. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.111>
- Sphera. (2016). *Life Cycle Assessment LCA Software: GaBi Software*. <https://gabi.sphera.com/south-america/index/>
- Sustainable Minds. (2021). *Design greener products right – from the start*. <http://www.sustainableminds.com/>
- Telenko, C. (2009). *Developing Green Design Guidelines : A Formal Method and Case Study*.

Master Thesis.

- Telenko, C., O'Rourke, J. M., Seepersad, C. C., y Webber, M. E. (2016). A Compilation of Design for Environment Guidelines. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 138(3). <https://doi.org/10.1115/1.4032095>
- The Circulars. (2021). *The Circulars Accelerator*. <https://thecirculars.org/>
- The Natural Step International. (2021). *The Natural Step – Accelerating the transition to a truly sustainable society*. <https://thenaturalstep.org/>
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process* (4th edit). McGraw-Hill.
- Ulrich, K. T. (2011). Design is everything? *Journal of Product Innovation Management*, 28(3), 394–398. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00809.x>
- Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5a ed.). McGraw-Hill.
- UN. (2017). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- UN. (2021). *SDG Indicators*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95963-4_300147
- UNEP, y TUDelft. (2009). *D4S Design for sustainability- A Step-by-step Approach*. www.unep.fr
- UNESCO. (1972). *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural*. <http://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>
- UNESCO. (2021). *Patrimonio cultural*. <https://es.unesco.org/fieldoffice/santiago/cultura/patrimonio>
- University of Manchester. (2016). *CCaLC • Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities*. <http://www.ccalc.org.uk/>
- Vinodh, S., Kamala, V., y Jayakrishna, K. (2014). Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development. *Applied Mathematical Modelling*, 38(11–12), 2758–2770. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.10.057>
- Vinodh, S., Manjunatheshwara, K. J., Karthik Sundaram, S., y Kirthivasan, V. (2017). Application of fuzzy quality function deployment for sustainable design of consumer electronics products: a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(4), 1021–1030. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1296-7>
- Vinodh, Sekar, y Rathod, G. (2014). Application of life cycle assessment and Monte Carlo simulation for enabling sustainable product design. *Journal of Engineering, Design*

- and Technology*, 12(3), 307–315. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2010-0045>
- von Geibler, J., Piwowar, J., y Greven, A. (2019). The SDG-Check: Guiding Open Innovation towards Sustainable Development Goals. *Technology Innovation Management Review*, 9(3), 20–37. <https://doi.org/10.22215/timreview/1222>
- Walmart. (2021). *Gigaton Calculator*. <https://walmartsustainabilityhub.emissionscalculators.walmart.com/main/home/GSF/eng>
- Wang, J., Yu, S., Qi, B., y Rao, J. (2010). ECQFD & LCA based methodology for sustainable product design. *2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, CAID and CD'2010, 2*, 1563–1567. <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2010.5681909>
- White, P., Pierre, L. St., y Belletire, S. (2013). Okala - the ecodesign strategy wheel. *Okala Practitioner: Integrating Ecological Design*. <http://www.okala.net/>
- Wilson, G. T., y Bhamra, T. (2020). Design for sustainability: The need for a New Agenda. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Número 9). <https://doi.org/10.3390/su12093615>
- Wu, Y. H., y Ho, C. C. (2015). Integration of green quality function deployment and fuzzy theory: A case study on green mobile phone design. *Journal of Cleaner Production*, 108, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.013>
- Yu, S., Yang, Q., Tao, J., y Xu, X. (2015). Incorporating quality function deployment with modularity for the end-of-life of a product family. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.037>
- Zhang, H., Li, H., Liu, S., y Peng, G. (2019). Product design innovation method and practice based on sustainable design. En *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 130). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04290-5_5
- Zhang, X., Zhang, L., Fung, K. Y., Bakshi, B. R., y Ng, K. M. (2020). Sustainable product design: A life-cycle approach. *Chemical Engineering Science*, 217, 115508. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115508>
- Zhou, C. C., Yin, G. F., y Hu, X. B. (2009). Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach. *Materials and Design*, 30(4), 1209–1215. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.006>

Anexo 1 Relación entre metas de los ODS y los temas abordados

#	Meta de los objetivos de desarrollo sostenible	Temas y subtemas abordados	
1.1	Para 2030, erradicar la pobreza extrema para todas las personas en el mundo, actualmente medida por un ingreso por persona inferior a 1,25 dólares al día.	Condiciones laborales	
1.4	Para 2030, garantizar que todos los hombres y mujeres, en particular los pobres y los más vulnerables, tengan los mismos derechos a los recursos económicos, así como acceso a los servicios básicos, la propiedad y el control de las tierras y otros bienes, la herencia, los recursos naturales, las nuevas tecnologías y los servicios económicos, incluida la micro financiación.	Condiciones laborales Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables	
1.5	Para 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y a otros desastres económicos, sociales y ambientales.	Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables Diseño incluyente	
3.9	Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo	Gestión de productos químicos Gestión de emisiones dañinas para el medio ambiente y la sociedad	
5.1	Poner fin a todas las formas de discriminación contra todas las mujeres y las niñas en todo el mundo	Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables	
5.2	Eliminar todas las formas de violencia contra todas las mujeres y las niñas en los ámbitos público y privado, incluidas la trata y la explotación sexual y otros tipos de explotación	Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables	
5.3	Eliminar todas las prácticas nocivas, como el matrimonio infantil, precoz y forzado y la mutilación genital femenina	Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables Condiciones laborales	
5.5	Asegurar la participación plena y efectiva de las mujeres y la igualdad de oportunidades de liderazgo a todos los niveles decisorios en la vida política, económica y pública	Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables	Procesos de decisión e incidencia de la opinión
5.b	Mejorar el uso de la tecnología instrumental, en particular la tecnología de la información y las comunicaciones, para promover el empoderamiento de las mujeres	Diseño feminista/con perspectiva de género	énfasis en mujeres usuarios

6.3	De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.	Gestión de productos químicos Gestión de emisiones	contaminación del agua, tratamiento y reúso del agua
6.4	De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua	Producción y consumo sustentables	sostenibilidad de la extracción de recurso hídrico
6.5	De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda	Producción y consumo sustentables	gestión a nivel ecosistema
6.6	De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos	Conservación y protección de los ecosistemas y su diversidad	
7.3	Para el 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética	Producción y consumo sustentables	
7.a	Para el 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias	Cooperación, alianzas y divulgación	ciencia y tecnología en temas energéticos
8.2	Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra	Innovación y modernización tecnológica al valor añadido e inclusión de mano de obra	Maximización en la eficiencia de uso de recursos, Condiciones laborales excelentes, generación y/o conservación de empleos, desarrollo tecnológico sin desplazamiento laboral

8.4	Desglose en temas del marco decenal	Objetivo: Fomentar prácticas de producción y consumo que contribuyan al desarrollo sustentable de México	Principios de la estrategia: 1) calidad de vida, 2) acceso a la información, 3) participación ciudadana, 4) perspectiva de género, 5) Perspectiva de ciclo de vida, 6) cultura de la sustentabilidad, 7) responsabilidad común pero diferenciada, 8) principio precautorio (la falta de certeza científica no será razón para postergar medidas para impedir la degradación del MA), 9) Coordinación inter e intra gubernamental, 10) Reducción, reutilización y reciclaje
8.5	De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor	Condiciones laborales: Inclusión en el trabajo	
8.7	Adoptar medidas inmediatas y eficaces para erradicar el trabajo forzoso, poner fin a las formas contemporáneas de esclavitud y la trata de personas y asegurar la prohibición y eliminación de las peores formas de trabajo infantil, incluidos el reclutamiento y la utilización de niños soldados, y, de aquí a 2025, poner fin al trabajo infantil en todas sus formas	Condiciones laborales: Trabajo forzado Esclavitud y trata de personas Trabajo infantil	
8.8	Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios	Condiciones laborales: Seguridad en el trabajo Seguridad social Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables	
9.2	Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados	Producción y consumo sustentables Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables Condiciones laborales	enfoque a la inclusión de mujeres y grupos vulnerables. Contemplar el incremento de trabajos con las actividades industriales

9.4	De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas	Producción y consumo sustentables	enfoque al desarrollo de tecnología sustentable
9.5	Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo	Fomento a la R&D y personas participantes	personas trabajando y participando en el sector, aumento de actividades de R&D
10.2	De aquí a 2030, potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas, independientemente de su edad, sexo, discapacidad, raza, etnia, origen, religión o situación económica u otra condición	Diseño incluyente	inclusión social, económica y política
10.3	Garantizar la igualdad de oportunidades y reducir la desigualdad de resultados, incluso eliminando las leyes, políticas y prácticas discriminatorias y promoviendo legislaciones, políticas y medidas adecuadas a ese respecto	Condiciones laborales Diseño incluyente	
11.3	De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países	Producción y consumo sustentables Empoderamiento de la mujer y grupos vulnerables Diseño feminista/ con perspectiva de género	
11.4	Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo	Conservación y protección de los ecosistemas y su diversidad Conservación de patrimonio cultural	
11.6	De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo	Gestión de productos químicos Gestión de emisiones Gestión de residuos	
12.1	Desglose del marco decenal	Mismo que 8.4	
12.2	De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales	Producción y consumo sustentables	
12.4	De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente	Gestión de productos químicos Gestión de residuos Gestión de emisiones	contaminantes del medio ambiente y dañinos para la sociedad, énfasis en regulaciones

12.5	De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización	Gestión de residuos	Prevención, 3R
12.6	Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes	Cooperación, alianzas y divulgación - desarrollo sostenible	reportes de sustentabilidad
12.8	De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza	Cooperación, alianzas y divulgación - desarrollo sostenible	divulgación de información para la vida sostenible
13.a	Desglose de la contribución determinada a nivel nacional	Sectores considerados en la mitigación de emisiones: 1) transporte, 2) generación eléctrica, 3) residencial y comercial, 4) petróleo y gas	Enfoques y acciones multisectoriales: 1) soluciones basadas en la naturaleza (1,2,3,4,6,11,12,13,14,15); 2) Economía circular (1,2,3,4,5,7,8,9,11,12), 3) Uso eficiente de energía (1,2,3,4,5,7,8,9,11,12,13); 4) Sistema de comercio de emisiones (7,8,9,10, 11,12,13); 5) Estrategia de financiamiento climático y construcción de criterios para su optimización (1,4,7,8,9,10,11,12,13,16,17); 6) Educación ambiental y desarrollo de capacidades (1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17); 7) Monitoreo, reporte y verificación de las acciones (4,8,9,16,17)
14.1	De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes	Gestión de emisiones dañinas para el medio ambiente y la sociedad – énfasis en océano	
14.3	Minimizar y abordar los efectos de la acidificación de los océanos, incluso mediante una mayor cooperación científica a todos los niveles	Gestión de emisiones dañinas para el medio ambiente y la sociedad – énfasis en acidificación del océano	

15.1	Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales	Producción y consumo eficientes, Crecimiento sostenible (desvincular crecimiento de extracción), Gestión de emisiones dañinas para el medio ambiente y sociedad - énfasis en ecosistemas terrestres	
15.4	Para 2030, velar por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de mejorar su capacidad de proporcionar beneficios esenciales para el desarrollo sostenible		
15.5	Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción	Conservación y protección de los ecosistemas y su diversidad	
15.9	Para 2020, integrar los valores de los ecosistemas y la diversidad biológica en la planificación nacional y local, los procesos de desarrollo, las estrategias de reducción de la pobreza y la contabilidad		
17.6	Mejorar la cooperación regional e internacional Norte-Sur, Sur-Sur y triangular en materia de ciencia, tecnología e innovación y el acceso a estas, y aumentar el intercambio de conocimientos en condiciones mutuamente convenidas, incluso mejorando la coordinación entre los mecanismos existentes, en particular a nivel de las Naciones Unidas, y mediante un mecanismo mundial de facilitación de la tecnología	Cooperación, alianzas y divulgación – cooperación	
17.7	Promover el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales y su transferencia, divulgación y difusión a los países en desarrollo en condiciones favorables, incluso en condiciones concesionarias y preferenciales, según lo convenido de mutuo acuerdo	Cooperación, alianzas y divulgación – transferencia y divulgación de tecnología	alianzas y procesos de innovación en torno al desarrollo tecnológico
17.16	Mejorar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, complementada por alianzas entre múltiples interesados que movilicen e intercambien conocimientos, especialización, tecnología y recursos financieros, a fin de apoyar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en todos los países, particularmente los países en desarrollo	Cooperación, alianzas y divulgación – alianzas entre interesados	

Anexo 2 Preguntas desarrolladas a partir de los temas identificados en los ODS y los principios de diseño sostenible

1. Condiciones de trabajo.

- 1.1. ¿los procesos relacionados con el producto a lo largo de su ciclo de vida promueven condiciones justas de trabajo, libres de trabajo forzado, esclavitud, trata de personas, trabajo infantil y promoviendo la inclusión de mujeres y grupos vulnerables de la sociedad?
- 1.2. ¿el producto y sus componentes son manufacturados con materia prima y recursos obtenidos de procesos con condiciones justas (libres de esclavitud, trabajo forzado, trata de personas, riesgos laborales, trabajo infantil y promoviendo la inclusión de mujeres y grupos vulnerables de la sociedad) para los trabajadores y las comunidades involucradas?

2. Conservación del patrimonio cultural.

A lo largo del ciclo de vida del producto:

- 2.1. ¿las amenazas ocasionadas por el desarrollo del producto y sus procesos asociados, al patrimonio cultural son inexistentes, o contemplan acciones para mitigarlas?

Patrimonio cultural: los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia; ii) los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia; iii) los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza, así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico (UNESCO, 1972).

3. Conservación de los ecosistemas y su diversidad.

A lo largo del ciclo de vida del producto:

- 3.1. ¿las amenazas ocasionadas por el desarrollo del producto y sus procesos asociados hacia ecosistemas terrestres y marinos son mitigadas o inexistentes?

- 3.2. ¿el producto, desde su diseño, realiza acciones para mitigar o eliminar amenazas hacia los ecosistemas y su diversidad, a pesar de no tener la certeza científica de su causa u origen?
- 3.3. ¿el producto y sus componentes, a lo largo de su ciclo de vida, no representan una amenaza hacia los ecosistemas y su diversidad?
- 3.4. ¿el producto permite la coexistencia de manera respetuosa entre la humanidad y la naturaleza?

4. Crecimiento sostenible.

- 4.1. ¿el producto tiene una propuesta de valor desvinculada de la extracción y explotación de recursos?
- 4.2. ¿el producto puede concebirse como un servicio?
Ejemplos: sistemas de leasing o pago de membresía para acceder al servicio.

5. Diseño con perspectiva de género.

- 5.1. ¿se han considerado las necesidades de usuarias mujeres y/o usuarios de grupos vulnerables en el proceso de diseño?

6. Diseño incluyente.

- 6.1. ¿se ha considerado la inclusión social, económica y política de grupos vulnerables en el proceso de diseño mediante el conocimiento de sus necesidades y experiencias?

7. Gestión de emisiones.

A lo largo del ciclo de vida del producto:

- 7.1. ¿se conocen las emisiones dañinas ocasionadas por los procesos industriales y el transporte al MA y la sociedad?
- 7.2. ¿se conocen los indicadores usados para medir tales emisiones?
- 7.3. ¿el producto contempla (en su diseño) estrategias para la mitigación de emisiones?
- 7.4. ¿los procesos asociados incluidos el transporte evitan y mitigan las emisiones tóxicas y la interrupción de ecosistemas?
- 7.5. ¿el producto es seguro para el usuario durante su uso y disposición tanto para el ser humano como para el medio ambiente?

8. Gestión de productos químicos.

A lo largo del ciclo de vida del producto:

- 8.1. ¿se conocen los efectos negativos de los productos químicos considerados, así como sus procesos industriales asociados, en el MA y la sociedad?

- 8.2. ¿se conocen los indicadores y métricas asociados a los impactos negativos en el MA y la sociedad?
- 8.3. ¿el producto y sus componentes usan alternativas a los productos químicos, tal que mitiguen su impacto dañino en el MA y la sociedad?
- 8.4. ¿el producto y sus componentes contemplan mecanismos de fin de vida sustentables para los productos químicos que se encuentran en su composición?

9. Gestión de residuos.

- 9.1. ¿el producto y sus componentes (incluyendo su empaque), en su etapa de fin de vida, tienen una gestión adecuada de sus residuos, y existen estrategias para ser reintroducidos de manera sustentable a su ciclo de vida?
- 9.2. ¿el producto y sus componentes (incluyendo su empaque) permite el desensamble para promover el reúso de componentes y materia prima?
- 9.3. ¿el producto y sus componentes (incluyendo su empaque), al término de su vida, permite la generación de ganancias económicas para la industria y los usuarios?
- 9.4. ¿el producto y sus componentes (incluyendo su empaque) en su fin de vida es contemplado como propuesta de valor por un modelo de negocio?

10. Producción y consumo sustentable.

- 10.1. A lo largo del ciclo de vida del producto ¿se han considerado estrategias de diseño para la optimización y el uso sustentable en los distintos procesos y etapas asociadas al producto de las siguientes categorías?
Masa/materiales, energía, tiempo, espacio, recursos humanos y financieros
- 10.2. ¿se han considerado herramientas para el diseño y desarrollo sustentable del producto?
- 10.3. ¿el producto implica el desarrollo y/o uso de tecnología sustentable?
- 10.4. ¿el producto fomenta la promoción de una cultura sustentable en el usuario?
Ej.: indicadores de consumo energético, aviso de carga completa
- 10.5. ¿el producto aprovecha las fuentes de energía renovables para su funcionamiento?
- 10.6. A lo largo del ciclo de vida del producto: ¿los procesos asociados con el diseño y desarrollo del producto usan recursos y fuentes de energía renovables?
- 10.7. ¿el producto es personalizable, actualizable e invita al usuario a participar activamente en los procesos?

- 10.8. ¿el producto tiene una estética durable a través del tiempo?
- 10.9. ¿el producto es resistente y durable ante las distintas aplicaciones consideradas y ante el paso del tiempo?
- 10.10. ¿el producto usa los flujos existentes de energía (fuentes de energía renovables) y materiales (recursos renovables disponibles) sustentables?
- 10.11. ¿el producto y sus procesos asociados usan la infraestructura (industrias, transportes, cadenas de suministro) sustentable existente?
- 10.12. A lo largo del ciclo de vida del producto: ¿los procesos asociados operan mediante un sistema de arranque, produciendo sólo lo necesario?
- 10.13. ¿el producto cumple la necesidad/función sin recurrir a un diseño "sobrado"?
- 10.14. ¿el producto está pensado para ser producido en un esquema bajo pedido o personalizado (*knowledge based product customization*)?
- 10.15. ¿el producto y su empaque son diseñados de manera paralela, considerando lineamientos sustentables para ambos?

11. Innovación y responsabilidad social.

En el proceso de diseño y desarrollo del producto:

- 11.1. ¿se realizan actividades de cooperación, promoción, desarrollo tecnológico, transferencia y divulgación de tecnología sustentable, así como para la mejora constante?
- 11.2. ¿se incita y divulgan prácticas sustentables dirigidas tanto a la industria como al consumidor?
- 11.3. ¿se establecen alianzas con instituciones públicas y privadas para lograr metas de desarrollo sustentable?
- 11.4. ¿se fomenta la participación e inclusión a todos los niveles del proceso de diseño de mujeres y grupos vulnerables?

12. Adoptar un pensamiento sistémico/pensamiento de sistemas

- 12.1. En el proceso de diseño y desarrollo del producto, ¿se han implementado perspectivas de pensamiento de sistemas, como el *Life Cycle Thinking*, *System Thinking* o *Circular Economy*?

Anexo 3 Cuestionario sobre la percepción de la lista de verificación.

Percepción sobre la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles.

El siguiente cuestionario tiene como objetivo conocer su opinión e impresiones posteriores al uso de la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles. El cuestionario consta de 10 preguntas, con un tiempo de llenado de 5 minutos.

***Obligatorio**

1. Nombre *

2. Edad *

3. Carrera *

Percepción de la lista

Para esta sección, puedes apoyarte de la lista de verificación para facilitar el llenado del cuestionario.

4. 1.- En una escala del 1 al 7, ¿qué tanto conocimiento poseías sobre la sostenibilidad antes de usar la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5 6 7

Nulo conocimiento Mucho conocimiento

5. 2.- Si pudieras cambiar algo de la lista de verificación para mejorar su uso, ¿qué cambiarías? *

6. 3.- ¿Qué temas consideras importantes para la sostenibilidad y que no se encuentran en los enunciados del apartado de "lista de verificación"? *

7. 4.- ¿Consideras suficiente la información mostrada en el apartado "información previa" para usar la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles? SÍ/NO, ¿Por qué? *

8. 5.- ¿Consideras que la manera de presentar los resultados, en el apartado "lista de verificación", mediante un gráfico radial es clara? SI/NO, ¿Por qué? *

9. 6.- ¿Consideras que la lista de verificación es útil para generar conciencia sobre los temas y variables que contempla la sostenibilidad en el diseño? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
nada útil	<input type="radio"/>	muy útil						

10. 7.- ¿Consideras que la lista de verificación es útil para implementar herramientas e instrumentos de diseño sostenible en el proceso de diseño? *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Nada útil	<input type="radio"/>	Muy útil						

11. 8.- Usando como referencia un proceso de diseño tradicional en ingeniería, ¿en qué etapa o etapas consideras que podría implementarse la lista de verificación para el diseño de productos sostenibles? *

Selecciona todos los que correspondan.

- Identificación de necesidades
- Especificaciones del producto
- Diseño conceptual
- Diseño de detalle

12. 9.- Comentarios o sugerencias.

Anexo 4 Lista de verificación para el diseño de productos sostenibles

Se recomienda descargar la versión en Excel y visualizarla en una PC.

Enlace: <https://1drv.ms/x/s!Alc7y9WksPODgZYCt2E5TqMve5n65A?e=edDjuY>