



**Configuración de la estrategia de producto como servicio en el sector mobiliario de
instituciones de educación superior**

Brigitte Mildred Roldán Ramírez

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería

Director

Pablo Andrés Maya Duque, Doctor (PhD) en Economía Aplicada

Codirectora

Olga Cecilia Usuga Manco, Doctora (PhD) en Estadística

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

| | |
|----------------------------|--|
| Cita | (Roldán Ramírez, 2022) |
| Referencia | Roldán Ramírez (2022). <i>Configuración de la estrategia de producto como servicio en el sector mobiliario de instituciones de educación superior</i> , [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Maestría en Ingeniería.

Grupo de Investigación Analítica e Investigación para la Toma de Decisiones (ALIADO).

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Centro de Documentación Ingeniería CENDOI

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Mario Alberto Gaviria Giraldo

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

En memoria de mí de amada abuela Clementina Castro

(1926-2017)

Admiración por tu bondad, generosidad y fortaleza

Agradecimientos

Este trabajo representa la materialización de un gran reto e ilusión, en el que mi crecimiento personal y profesional sobrepasó mis expectativas. Hoy más integra, más humana, social y resiliente, agradezco la oportunidad brindada en mi Alma Máter. Ante todo, agradezco a Dios por mostrarme las puertas y posibilitarme las oportunidades mediante personas maravillosas que se han cruzado en este camino académico y profesional, que me han impulsado a confiar en mí y tomar decisiones que me llevan a este momento.

Mi especial agradecimiento y reconocimiento a mis directores Pablo Andrés Maya Duque y Olga Cecilia Usuga Manco, quienes, con tanta dedicación, apoyo, comprensión y exigencia, construyeron junto a mí, más que este trabajo, un entorno seguro y respetuoso de aprendizajes, experiencias y aptitudes, por ello desde la humildad de la admiración que les tengo, muchas gracias. Mi más sincero agradecimiento al profesor Sebastian Jaen Posada por transmitirme su valioso conocimiento y asesoría constante, por brindarme apoyo en este camino y mostrarme su invaluable humanidad. Agradecimiento especial a las profesoras Gloria Osorno, Gloria Ramírez y Carmen Patiño, siempre dispuestas a apoyarme técnica y moralmente, a guiarme de ser necesario e impulsarme en los momentos difíciles. Agradezco profundamente al profesor Juan Guillermo Villegas por su apoyo, optimismo, guía en mi formación académica y docente. Todos ellos pertenecientes al grupo de investigación ALIADO, al que le debo tantas oportunidades y crecimiento, gracias por mostrarme la arista de la empatía y creer en sus estudiantes.

Agradezco a mis padres y hermano por creer en mis habilidades, por el apoyo, la comprensión, amor que me han brindado en esta etapa, y agradezco a esta nueva vida que crece en mí, que viene en camino y que me da la fortaleza de alcanzar mis propósitos.

Resumen

Configuración de la estrategia de producto como servicio en el sector mobiliario de instituciones de educación superior

La tradicional economía lineal, donde el consumo de productos está dado por tomar, fabricar y desechar, ha traído consigo consecuencias en el medio ambiente y la economía, dada la escasez de recursos finitos, la generación de emisiones al medio ambiente y miles de toneladas de residuos que han saturado la capacidad de gestión. Por ello se requiere migrar hacia una Economía Circular (EC) que logre preservar recursos naturales, extendiendo la vida útil de productos y materiales, aumentando su durabilidad mediante la aplicación de diferentes estrategias con ciclos de remanufactura, reparación, reciclaje y reutilización. En Colombia se han venido desarrollando diferentes iniciativas respecto a la EC siguiendo el modelo europeo, en el que se han intervenido diversos sectores como el de equipos eléctricos y electrónicos, envases y empaques plásticos, baterías, fármacos, llantas y de manera emergente el sector mobiliario, haciendo que dicho sector cobre relevancia, implementando en ellos diferentes estrategias de EC como la de producto como servicio (PSS), la cual consiste en un modelo de negocio donde el consumidor puede acceder a un bien o servicio sin tener que comprarlo, siendo el proveedor del producto-servicio quien se hace cargo de la gestión durante todo su ciclo de vida. En este trabajo se desarrolla una metodología para proponer la configuración a seguir para implementar la estrategia PSS en el sector mobiliario, específicamente mobiliario de Instituciones de Educación superior (IES). Dicha configuración tiene en cuenta factores que incluyen criterios de sostenibilidad, planteando un nuevo modelo de adquisición y gestión de mobiliario, que aporta a la disminución de impactos ambientales y generación de beneficios económicos. Se realiza la validación mediante panel de expertos y caso de estudio en una IES, donde se simula el modelo de gestión de mobiliario basado en PSS mediante dinámica de sistemas, y como resultado se muestran los beneficios, la conveniencia de la aplicación de la estrategia PSS y se incentiva a un cambio de patrones de uso y consumo de productos.

Palabras clave: economía circular, producto como servicio, mobiliario, instituciones de educación superior.

Abstract

The traditional linear economy where the consumption of products is given by taking, manufacturing and discarding, has brought environment and the economy consequences, given the scarcity of finite resources, the generation of emissions into the environment and thousands of tons of residues that have saturated the management capacity. For this reason, it is necessary to migrate towards a Circular Economy (CE) that manages to preserve natural resources, extending the useful life of products and materials, increasing their durability through the application of different strategies with cycles of remanufacturing, repair, recycling and reuse. In Colombia, different initiatives have been developed regarding CE following the European model, in which various sectors have been involved, such as electrical and electronic equipment, plastic containers and packaging, batteries, pharmaceuticals, tires and, emergingly, the furniture sector. making this sector relevant, implementing in them different EC strategies such as the product as a service (PSS) which consists of a business model where the consumer can access a good or service without having to buy it, being the supplier of the product-service who is in charge of management throughout its life cycle. In this work, a methodology is developed to propose the configuration to follow to implement the PSS strategy in the furniture sector, specifically furniture of Higher Education Institutions (IES). This configuration takes into account factors that include sustainability criteria, proposing a new furniture acquisition and management model, which contributes to the reduction of environmental impacts and the generation of economic benefits. Validation is carried out through a panel of experts and a case study in a HEI, where the furniture management model based on PSS is simulated through system dynamics, and as a result the benefits and convenience of applying the PSS strategy are shown. and a change in patterns of use and consumption of products is encouraged.

Keywords: circular economy, product as a service, furniture, higher education institutions.

Contenido

| | Pág. |
|---|-----------|
| 1. Marco teórico y estado del arte | 18 |
| 1.2 Economía circular..... | 18 |
| 1.3 Marco Normativo..... | 20 |
| 1.3.1 Normatividad en Colombia | 22 |
| 1.4 Estrategias de Economía Circular..... | 24 |
| 1.4.1 Producto como Servicio (PSS) | 26 |
| 1.5 Medición de desempeño..... | 30 |
| 1.6 Estado del Arte | 32 |
| 2. Configuración estrategia PSS..... | 40 |
| 2.1 Identificación Factores Críticos | 40 |
| 2.2 Diseño estrategia PSS..... | 46 |
| 3. Validación | 50 |
| 3.1 Diseño..... | 50 |
| 3.2 Metodología..... | 51 |
| 3.3 Participantes | 52 |
| 3.4 Resultados..... | 52 |
| 3.4.1 Resultados sección “Su visión”..... | 52 |
| 3.4.2 Resultados sección “Nuestro enfoque” | 54 |
| 3.4.3 Resultados sección “Juego de roles” | 59 |
| 3.4.4 Resultados sección “Oportunidades y barreras” | 65 |
| 4. Caso de estudio: Modelo | 68 |
| 4.1 Diagnóstico..... | 68 |
| 4.1.1 Compra de sillas | 71 |
| 4.1.2 Uso e inventario de sillas | 72 |
| 4.1.3 Disposición final de sillas..... | 73 |
| 4.2 Modelo Dinámica de Sistemas..... | 75 |
| 4.2.1 Conceptualización del problema..... | 76 |
| 4.2.2 Hipótesis dinámica | 76 |
| 4.2.3 Formulación del modelo de simulación | 78 |
| 4.2.4 Políticas | 88 |

| | |
|---|---|
| 8 | Configuración de la estrategia de producto como servicio en el sector mobiliario de instituciones de educación superior |
|---|---|

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.2.5 | Resultados | 91 |
| 4.2.6 | Validación: Análisis de sensibilidad | 97 |
| 5. | Conclusiones y recomendaciones | 102 |
| 5.2 | Conclusiones | 102 |
| 5.3 | Recomendaciones | 104 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Línea de tiempo. Marco normativo de la Economía Circular en Colombia (Elaboración propia)..... | 24 |
| Figura 2. Niveles de Orientación estrategia PSS. Adaptado (Yang et al., 2018) | 28 |
| Figura 3. Esquema de factores críticos. Elaboración propia | 42 |
| Figura 4. Proceso para establecimiento de elementos (características de producto y servicio) | 43 |
| Figura 5. Ideas principales de expertos de sección "Su visión" | 53 |
| Figura 6. Imagen sección "Nuestro enfoque" | 55 |
| Figura 7. Resultados Panel de Expertos: Características de Producto | 56 |
| Figura 8. Resultados Panel de Expertos: Características de Servicio | 58 |
| Figura 9. Imágenes sección "Juego de roles" | 60 |
| Figura 10. Ideas principales de expertos de sección "Oportunidades y barreras" | 66 |
| Figura 11. Proceso de gestión de mobiliario en dependencias de la Universidad de Antioquia | 70 |
| Figura 12. Caracterización detallada del proceso de abastecimiento y gestión de mobiliario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia | 74 |
| Figura 13. Diagrama causal proceso actual Gestión de Mobiliario..... | 77 |
| Figura 14. Modelo sistema flujos y niveles del proceso actual..... | 81 |
| Figura 15 Modelo sistema flujos y niveles del proceso propuesto PSS | 87 |
| Figura 16. Comportamiento comparativo Escenario Base vs Políticas | 94 |
| Figura 17. Resultados gráficos de análisis de sensibilidad "Costo Total Modelo PSS" | 98 |
| Figura 18. Resultados gráficos de análisis de sensibilidad "Total Adquisiciones Modelo PSS " | 101 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Lista de Características de Producto y de Servicios PSS | 44 |
| Tabla 2. Resultados Características de Producto | 55 |
| Tabla 3. Ranking Características Producto | 57 |
| Tabla 4. Resultados Características de Servicios..... | 57 |
| Tabla 5. Ranking Características de Servicio | 59 |
| Tabla 6. Características producto y servicio según nivel de orientación PSS en "Rol Cliente" | 61 |
| Tabla 7. Escala de Saaty para matriz de comparación pareada | 62 |
| Tabla 8. Matriz de comparación pareada para características según actor cliente y nivel de orientación al servicio | 63 |
| Tabla 9. Matriz de comparación pareada | 63 |
| Tabla 10. Características producto y servicio según nivel de orientación PSS en "Rol Proveedor" | 64 |
| Tabla 11. Variables Modelo Actual | 79 |
| Tabla 12. Variables modelo propuesto PSS | 84 |
| Tabla 13. Valores de parámetros para Escenario Base | 88 |
| Tabla 14. Valores de parámetros para Escenario de Transición | 89 |
| Tabla 15. Valores de parámetros para Escenario de PSS | 90 |
| Tabla 16. Experimentos Escenario Base..... | 91 |
| Tabla 17. Experimentos Política 1- Escenario de Transición..... | 92 |
| Tabla 18. Coeficientes de correlación Política 1 - Escenario de Transición | 92 |
| Tabla 19. Experimentos Política 2- Escenario de PSS..... | 93 |
| Tabla 20. Coeficientes de correlación Política 2 - Escenario PSS | 93 |
| Tabla 21. Variación costos y adquisiciones entre escenarios | 95 |
| Tabla 22. Resultados Análisis de Variación | 96 |
| Tabla 23. Variación de parámetros para Análisis de Sensibilidad..... | 97 |
| Tabla 24. Resultados análisis de sensibilidad "Costo Total Modelo PSS" | 100 |
| Tabla 25. Resultados análisis de sensibilidad "Total Adquisiciones Modelo PSS" | 101 |

Introducción

En la economía lineal tradicional, los materiales se consumen y desechan después de ser usados, con un enfoque de “tomar, fabricar y desechar”. Dicho enfoque está causando la disminución acelerada de recursos naturales, dada la condición de recursos finitos que tenemos en el planeta, el elevado consumo de materias primas y generación de residuos. Esta situación genera impactos negativos en el medio ambiente por la contaminación causada en la elaboración y fabricación de productos, donde se genera contaminación de agua, aire y suelo, emisión de gases de efecto invernadero y afectaciones a la salud humana, además de la gestión ineficiente de residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2015b, 2019; Yang et al., 2018). Lo anterior ha llevado a que los fabricantes busquen implementar e intensificar la recuperación de sus materiales y productos, además se ha incrementado el consumo consciente de productos amigables con el medio ambiente por parte de los consumidores (Ilgin, 2019).

Se plantea entonces la necesidad de migrar hacia la Economía Circular (EC) que está basada en los principios de preservación de los recursos naturales, la eficiencia de los sistemas productivos y la optimización de rendimiento de los recursos (Ellen MacArthur Foundation, 2015a). La EC es un sistema económico que se enfoca en extender el periodo de tiempo en el que los materiales y productos están en uso, mediante la prolongación de su durabilidad y su recuperación, con el aumento de ciclos de remanufactura, reparación, restauración y reciclaje (De Angelis et al., 2018), minimiza los desperdicios y fomenta la reutilización futura, previniendo la destrucción de valor de productos y materiales (Oppen et al., 2018).

A nivel mundial se han generado políticas y estrategias de la EC para varios sectores y productos, entre los que se encuentra aparatos eléctricos y electrónicos, materiales de envases y empaque, baterías, lámparas fluorescentes, vehículos al final de su vida útil y sustancias tóxicas, y de manera emergente se han implementado políticas para disposición adecuada de llantas, textiles, desechos de construcción y muebles (Tasaki et al., 2019).

De manera particular, en la industria europea, el sector mobiliario está teniendo una transición al modelo de la EC mediante diferentes estrategias que buscan extender el ciclo de vida de los muebles aumentando su capacidad de reparación y de reciclaje, promoviendo el uso de materiales eficientes y de bajo impacto ambiental (European Furniture Industries Confederation, 2015), con el fin de reducir los impactos ambientales generados en dicho sector, dado que se estima que alrededor de 10 millones de toneladas de muebles se destinan a vertederos e incineración (Forrest et al., 2017). Además, se han evidenciado problemas ambientales relacionados con las emisiones en su fase de producción, patrones de consumo y volumen de residuos generados, lo que indica que se requiere generar un uso más eficiente y consciente de ellos para disminuir dichos impactos (Besch, 2005).

Entre las estrategias en dicho sector se puede encontrar esquemas de diseño ecológico, eliminación de sustancias químicas en la fabricación, responsabilidad extendida del productor (REP) (European Furniture Industries Confederation, 2015) y la estrategia de producto como servicio (PSS por sus siglas en inglés) que consiste en un modelo de negocio donde el consumidor puede acceder a un bien o servicio sin tener que comprarlo u obtener su propiedad (De Angelis et al., 2018). Mediante la implementación de dichas estrategias se puede aumentar el ciclo de uso de los productos, aumentar tasas de reúso y reciclaje, además de reducir la generación de residuos sólidos.

Para el caso particular de Colombia, se estima una generación de 10,3 millones de toneladas de residuos anuales, equivalentes a 30.081 toneladas de residuos por día, de los cuales solo se recicla el 17%. Adicional a esto, el 22% de los 158 rellenos sanitarios del país están saturados, o ya han colapsado, por lo que se hace necesario implementar no solo medidas de disposición al final de vida útil de los productos, sino también herramientas durante toda la cadena de suministro y consumo de productos (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios & Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Algunos de los impactos del aprovechamiento de residuos en Colombia, se visualizan en el Informe nacional sobre el pesaje y registro de las cantidades de residuos efectivas de los prestadores de la actividad de aprovechamiento (Superservicios, 2018). En el informe se reporta que en 2017 se obtuvieron 529.517 toneladas de residuos aprovechados y en 2018 aproximadamente 767.137, lo cual indica un incremento en el reporte de aprovechamiento del 44,8%. Dicho informe muestra el comportamiento por familia de materiales, se reportó que de las toneladas correspondientes al año 2018, la familia de material papel y cartón aportó un 55,1% de la cantidad total, seguida de la familia de metales con 29,7%, la familia de plásticos con 8,8%, la familia de vidrio con 4,9%, madera con 1,2% y finalmente la familia de textiles con un 0,4% (Superservicios, 2018).

En el caso de sectores como el mobiliario, no se contemplan cifras agregadas de sus materiales respecto a la disposición final ni del aprovechamiento al final de su vida útil, pero se podría prever que la gestión sobre productos mobiliarios bajo la estrategia PSS puede tener impacto en varias familias de materiales usados en la producción, como la madera, el metal y el plástico. Esto teniendo en cuenta que podrían ser aprovechados con enfoques como el de las “3R” reducir, reutilizar y reciclar de EC, así como mediante diferentes modos de producción, consumo y disposición de productos y servicios (Ellen McArthur Foundation et al., 2015).

Lo anterior muestra que en dicho sector se tiene potencial para generar impactos ambientales, económicos y sociales, mediante la aplicación de estrategias de la EC. Por ello, es de interés desarrollar una metodología para la implementación de estrategias de la EC en el sector mobiliario, en este trabajo se aborda en particular la estrategia de producto como servicio (PSS).

La importancia de este trabajo radica en que, según modelos desarrollados en Europa, el sector mobiliario se ha identificado como uno de los emergentes y prioritarios para la adaptación hacia una EC dado el impacto ambiental y la generación de desechos de dicho sector (Braulio-Gonzalo & Bovea, 2020) además, la tendencia europea en estos ámbitos son una línea directriz para países en búsqueda de una transición a la EC, por lo que en Colombia, pese a su rezago temporal, el estado actual de la temática ya ha recorrido el mismo camino en otros tipos de bienes, sectores económicos y sus correspondientes marcos normativos, mostrando grandes oportunidades de mejora y aplicación de estrategias de EC que permitan impactos positivos en la sostenibilidad.

De manera particular se aborda el mobiliario para Instituciones de Educación Superior (IES) las cuales demandan recursos de mobiliario para el cumplimiento de sus actividades misionales. Este mobiliario es usado por el personal administrativo, docente y estudiantil, como el mobiliario de oficina, dotación de las aulas de clase y de laboratorios (H. Kristensen & Remmen, 2019). Debido al poder de negociación y la magnitud de las contrataciones dadas las cuantías que pueden llegar a tener las IES, por las cantidades considerables de mobiliario que requieren para la prestación de sus actividades tanto académicas como administrativas, se puede pensar en tener una transición a un nuevo modelo de adquisición del mobiliario de sillas sostenible, aportando al cambio en el patrón de consumo, uso y disposición de las mismas, considerando principios de recircularización, apoyadas en la estrategia de PSS enmarcada en principios de la EC (H. Kristensen & Remmen, 2019).

Dado lo anterior se propone dar solución a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo debería estructurarse la estrategia de Producto como Servicio para el mobiliario de las aulas de Instituciones de Educación Superior bajo el modelo de Economía Circular?

Objetivos y Metodología

El objetivo general que enmarca este trabajo de investigación, es el de proponer una metodología para configurar la aplicación de la estrategia de producto como servicio (PSS) en el sector mobiliario de Instituciones de Educación Superior. Los objetivos específicos que permitirán llegar a dicho resultado son los siguientes:

OE1. Describir modelos actuales de gestión de mobiliario en Instituciones de Educación Superior.

OE2. Identificar elementos, actores y factores críticos para implementar la estrategia de producto como servicio en el sector mobiliario.

OE3. Diseñar una configuración de la estrategia de producto como servicio en términos de los factores críticos identificados, que facilite la aplicación de dicha estrategia en diferentes entidades del sector mobiliario.

OE4. Identificar los mecanismos o herramientas para la medición del desempeño de la estrategia PSS.

OE5. Validar la pertinencia e impacto de aplicar la estrategia PSS bajo la configuración propuesta en sector mobiliario.

El diseño metodológico para desarrollar el alcance y el cumplimiento de los objetivos propuestos de la investigación, se compone de cinco fases: 1) Fase de diagnóstico, 2) Fase de estado del arte 3) Fase configuración de estrategia, 4) Fase de validación. Cada una de estas fases metodológicas aportan al logro de los objetivos específicos (OE) planteados para este trabajo de investigación. A continuación, se da una breve descripción de cada fase:

F1. Fase de diagnóstico: esta fase aborda el objetivo específico OE1. Describir modelos actuales de gestión de mobiliario en Instituciones de Educación Superior, en ella se realizan entrevistas con personal encargado de logística e infraestructura y observación directa sobre el proceso de gestión de mobiliario en una IES (H. Kristensen & Remmen, 2019; Öhgren et al., 2019), además de exploración de casos de estudio, para realizar la descripción y documentación del proceso actual de gestión de mobiliario. Para ello se emplean solicitudes de información sobre la compra de mobiliario, sus montos, selección de proveedores, proceso de ejecución del abastecimiento, datos de las actividades de mantenimiento y reparación e inventario. Además, se realizan entrevistas semiestructuradas en tres bloques de interés, basados en el ciclo de vida del mobiliario (Youngjin et al., 2016), el primer bloque corresponde a preguntas relacionadas con la compra del mobiliario, el segundo respecto el uso e inventario del mobiliario, y el tercero respecto a disposición final o eliminación de mismo, lo que permite caracterizar dichos procesos de gestión.

F2. Fase revisión de literatura: esta fase aporta a varios objetivos, al desarrollo del OE1 anteriormente descrito, al OE2 que corresponde a identificar elementos, actores y factores críticos para implementar la estrategia de PSS en el sector mobiliario, y el OE4 donde se identifica las herramientas que han sido utilizadas para la medición del desempeño de la estrategia PSS. Para esta fase se realiza una búsqueda y revisión de literatura en bases de datos, una revisión en cascada o Snowballing (Wohlin, 2014) y casos de estudio de la gestión de mobiliario con enfoque de EC. De esta revisión de literatura se identifica y documenta las estrategias encontradas para la gestión de mobiliario en el marco de PSS, además de los elementos, factores y actores críticos involucrados en dichas prácticas, e indicadores o herramientas aportantes a la medición de desempeño de las estrategias encontradas.

F3. Fase configuración de estrategia: Esta fase comprende el OE3 que corresponde al diseño de la estrategia de PSS en términos de los factores críticos encontrados, para proveer una guía de

cómo implementar dicha estrategia de EC en el sector mobiliario (H. Kristensen & Remmen, 2019; Oppen et al., 2018). En esta etapa se establecen los elementos, factores y actores mínimos que se requieren para configurar la estrategia PSS, adicionalmente se establecen las variables a tener en cuenta para definir las relaciones entre proveedores y clientes, como la propuesta de valor, elementos que se pueden incluir en la prestación del servicio mobiliario (Youngjin et al., 2016), las promesas de servicio. Lo anterior se establece teniendo en cuenta los resultados de la revisión de literatura, análisis de casos de estudio, información suministrada en entrevistas con expertos y actores involucrados en el proceso de gestión de mobiliario particularmente en IES. Finalmente, con estos elementos definidos, se estructura y documenta la metodología para aplicar la estrategia PSS en mobiliario de IES, que busca promover las adquisiciones circulares que implican que no solo el producto sea circular, es decir que el origen, uso y futuro de recursos o materiales sea amigable con el medio ambiente y aporten a la sostenibilidad (Oppen et al., 2018).

F4. Fase de Validación: esta fase aporta al desarrollo del OE5 que corresponde a validar la metodología propuesta donde evalúa tanto en pertinencia como en consistencia, los elementos, actores y factores críticos definidos en la fase 3 de la metodología, bajo el acompañamiento de panel de expertos con entrevistas semiestructuradas, y aplicación de cuestionarios de carácter cuantitativo y cualitativo (Hu et al., 2012; RAND Corporation, 2020), para posteriormente proponer la priorización de los factores críticos que serán variables de decisión respecto a características de servicio y características de producto que se deben incluir, para implementar la metodología propuesta en las fases 3, y mediante un método multicriterio de naturaleza jerárquica (Hu et al., 2012; Saaty, 1980) establecer la relevancia de dichos factores para el caso particular de una IES. Una vez se ha realizado la validación de dichos elementos se evaluará el impacto de aplicar la estrategia PSS en el abastecimiento de mobiliario para IES, mediante la simulación con Dinámica de Sistemas (Qu et al., 2016) que permite representar el comportamiento del sistema en el caso de implementar el abastecimiento del mobiliario bajo la estrategia y compararlo con el sistema actual, evaluando aspectos de desempeño en el marco de economía circular como el impacto ambiental relacionado con el consumo de recursos, en este caso representado por la cantidad de mobiliario usado para satisfacer la necesidad del cliente IES.

1. Marco teórico y estado del arte

Este primer capítulo presenta los resultados relevantes de la fase de revisión de literatura realizada y los casos de estudio encontrados respecto a la aplicación de PSS en el sector mobiliario. En la sección inicial 1.1 se encuentran las definiciones y características generales de la EC, sus objetivos, principios, y beneficios. En la sección 1.2 se encuentra información respecto al marco normativo que ha tenido la EC y su importancia para la implementación, seguido de la sección 1.3 se describen algunas de las estrategias de implementación de EC, y se profundiza en la estrategia Producto como Servicio (PSS). Posteriormente en la sección 1.4 se muestran los mecanismos encontrados para la medición de desempeño de las estrategias de EC. Finalmente en la sección 1.5 se describen los resultados del estado del arte centrando la búsqueda en la estrategia de PSS en el sector mobiliario.

1.2 Economía circular

La Economía Circular (EC) se puede definir como una economía que es restaurativa y regenerativa por diseño, la cual se enfoca en mantener los productos, componentes y materiales en su mayor valor y utilidad todo el tiempo (De Angelis et al., 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2015b). Esto se logra mediante la generación de circuitos cerrados de materiales, energía, trabajo, información y en general, de todos los recursos que hacen posible la producción de un bien (The British Standard Institution, 2017). Existen otras definiciones de EC que comprenden la dimensión social de la

sostenibilidad como “la EC es un modelo económico en el que la planificación, los recursos, la adquisición, la producción y el reprocesamiento, se diseñan y gestionan como proceso y como producto, para maximizar el funcionamiento del ecosistema y el bienestar humano” (Murray et al., 2017). En la EC se considera diseñar productos y procesos para su durabilidad, con estrategias como reutilización, refabricación y reciclaje, para mantener los productos, componentes y materiales circulando en la economía el mayor tiempo posible, lo que evita la generación de residuos y la producción de nuevos productos (Ellen MacArthur Foundation, 2019), es una economía que implica estrechar, ralentizar y cerrar los bucles de recursos (Bocken et al., 2016). De manera general, entre los objetivos de la aplicación de la EC se considera el eliminar los residuos, aumentar la eficiencia de los recursos y generar equilibrio entre los pilares de la sostenibilidad: la economía, la sociedad y el medio ambiente (H. S. Kristensen & Mosgaard, 2020).

La EC se basa en tres principios: 1) Diseño libre de residuos y contaminación, 2) Mantener los materiales y productos en uso, 3) Regenerar los sistemas naturales preservando y mejorando el capital natural, además de controlar el uso de recursos renovables. La aplicación de esos principios conlleva a beneficios ambientales relacionados con la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (Ellen MacArthur Foundation, 2017, 2019).

En la EC se identifican dos ciclos de materiales: biológico y técnico. En el ciclo biológico se integran alimentos y materiales biológicos de ciclo de vida corto, no tóxicos, que pueden retornar a la naturaleza, diseñados para que sean regeneradores de capital natural que proporcionan recursos renovables. En el ciclo técnico se integran productos y materiales con ciclo de vida largo, que se pueden usar en ciclos consecutivos de producción y uso, diseñados para ser reutilizados, restaurados, remanufacturados y reciclados (De Angelis et al., 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Entre los beneficios de la EC, según la Comisión Europea (Yang et al., 2018), se encuentra la minimización del uso de recursos, la reducción de la generación de residuos, la generación y el sostenimiento de valor de productos y materiales, buscando minimizar el impacto medioambiental, aumentar el beneficio económico de las empresas y enfrentar la escasez de recursos generada por la tradicional economía lineal (Banaitė & Tamošiūnienė, 2016), desvinculando el crecimiento económico del consumo de recursos finitos (Ellen MacArthur Foundation, 2015a).

Estos beneficios se presentan cuando el producto se aprovecha al final de su vida útil, generando un bajo consumo de energía, baja emisión de agentes contaminantes y alta eficiencia en los sistemas (Yang et al., 2018).

La EC tiene en cuenta tres grupos de interés generales: las empresas, la sociedad y el gobierno (Banaitė & Tamošiūnienė, 2016), este último tiene un rol relevante en la EC dado que mediante marcos normativos ayuda a impulsar el crecimiento de la economía de los países sin exceder la capacidad de la tierra respecto a la explotación de recursos (European Commission, 2015). Algunas regulaciones corresponden a la implementación de producción limpia, la aplicación de energías renovables, el uso de materiales renovables, la disminución de uso de productos químicos y generación de desechos, entre otros. Estas regulaciones impulsan la responsabilidad que debe asumir el consumidor y productor frente a la elaboración, consumo y disposición final de los productos (Korhonen et al., 2018).

I.3 Marco Normativo

La motivación para implementar las diferentes estrategias de EC se puede dar desde múltiples perspectivas, la ambiental, la social y la económica. Sin embargo, el establecimiento de lineamientos regulatorios y normativa obligatoria es lo que ha permitido articular a las empresas y

a los sectores económicos para poner en práctica dichas estrategias. Por tanto, se reconoce la importancia de la creación de políticas gubernamentales, que generen un marco legal para la implementación de estrategias de EC, pues esto genera condiciones para que las iniciativas se logren a gran escala en diferentes sectores productivos y de servicios (Ellen MacArthur Foundation, 2015b). Diferentes organizaciones como la Comisión Europea, el Fondo Monetario Internacional y la Organización Internacional del Trabajo, consideran que es de gran importancia promover incentivos fiscales para motivar la aplicación de estrategias de EC (Ellen MacArthur Foundation et al., 2015).

Como ejemplo del marco normativo, se encuentra la estrategia general de responsabilidad extendida del productor (REP), que nació en Suecia y Alemania en la década de los 90's, como una estrategia para el diseño ecológico de paquetes y productos que impacta los costos relacionados con la gestión de residuos (Lifset et al., 2013) y se implementa mediante instrumentos políticos, administrativos, económicos e informativos (Lindhqvist, 2000). La REP se define como la asignación de responsabilidad a los productores en la gestión de productos y empaques al final de su vida útil, financiando el reciclaje y recuperación de sus productos (Lifset et al., 2013), esto conlleva al reto de calcular los costos asociados a esta recuperación según el tipo de producto y el tratamiento final que se dará al mismo, de esta forma se pueden establecer incentivos desde los entes reguladores que establecen políticas y generar un aumento de rentabilidad para las organizaciones (Mayers et al., 2013).

Se estima que más de 350 políticas reguladas de gestión y reciclaje de residuos se han propuesto en todo el mundo, y que de ellas aproximadamente dos tercios han sido implementadas a partir del año 2001. Sin embargo, se ha presentado cierta resistencia y escepticismo frente a dichas políticas. Lo anterior sugiere que las políticas deben estar basadas en un proceso de creación, donde se generen consensos y aprendizaje, mediante las fases de identificación y selección de actores interesados, articulación de perspectivas y confrontación de ideas, para que las políticas

sean enfocadas asertivamente y sean efectivas tanto para el ámbito ambiental, financiero y social (Tasaki et al., 2019).

De manera general se estima que, siguiendo con la línea actual de implementación de medidas respecto a la EC en la Unión Europea, el consumo de materias primas podría disminuir hasta en un 32% en 2030 y hasta en un 53% para el 2050 (Ellen MacArthur Foundation, 2015b). Además, la implementación de las estrategias de EC, según un estudio realizado para Europa, indica que podría aumentar los beneficios productivos anuales de hasta 1,8 billones de euros, que equivale al aumento del PIB (producto interno bruto) de 7 puntos porcentuales para 2030, impactando positivamente la generación de empleo, aumentando la productividad, disminuyendo el consumo de recursos y el desperdicio generado en los procesos productivos (Ellen McArthur Foundation et al., 2015). Como ejemplo puntual de aplicación se encuentra que la Red de Reutilización de Muebles del Reino Unido (FRN), mediante el comercio de muebles usados, logró que aproximadamente 5000 toneladas de mobiliario fueran reutilizadas y como consecuencia se dejarán de emitir 3600 toneladas de CO₂, además de bajar los costos operacionales por adquisición de productos reciclados (Wrap, 2011).

1.3.1 Normatividad en Colombia

El marco normativo en Colombia ha evolucionado sectorialmente bajo la tendencia y modelo de la EC desarrollado en Europa. Se han adoptado sus principios y estrategias, esperando generar resultados positivos y dichos esfuerzos se centralizan desde iniciativas globales como la del Consejo Nacional de Política Económica y Social expresada en el CONPES 3874 (DNP, 2016) que generó la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en 2016. En esta política se hace explícita la disposición del gobierno para gestionar los residuos sólidos desde una perspectiva de EC, propone aumentar la transformación de los residuos sólidos para minimizar su impacto ambiental, generar menor disposición en los rellenos sanitarios, incentivar la separación en la

fuente de los residuos y articular actores para aumentar el tiempo del ciclo de vida de los productos (DNP, 2016).

Los marcos normativos son gestionados mediante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de programas posconsumo de residuos, en los cuales predomina un elemento fundamental que es la REP, con el fin de que los fabricantes e importadores se hagan cargo de estructurar los canales de devolución y disposición final de dichos residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Estos actos legislativos se agregan en los planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo que contienen el conjunto de reglas, acciones, procedimientos y medios que permiten devolución y acopio de productos que al desecharse se convierten en residuos o desechos peligrosos, para que mediante procesos se puedan aprovechar, valorizar, tratar y disponer de manera controlada y acertada (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Se sugiere la implementación de esquemas para diferentes productos, como fármacos o medicamentos vencidos (Resolución 371, 2009) baterías usadas de plomo ácido (Resolución 372, 2009), como computadoras y/o periféricos (Resolución 1512, 2010), pilas y acumuladores (Resolución 1297, 2010), llantas usadas (Resolución 1326, 2017; Resolución 1457, 2010), bombillas (Resolución 1511, 2010), plaguicidas (Resolución 1675, 2013), residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE (Ley 1672, 2013; Decreto 284, 2018), envases y empaques de diferentes materiales como papel, cartón, plástico, vidrio y metal (Resolución 1407, 2018).

En la Figura 1 se presentan algunos eventos importantes en el marco normativo de Colombia que inciden en la utilización de estrategias de la EC, como la inclusión del sistema de gestión de residuos sólidos en el 2002, la introducción de Gestión de Residuos Posconsumo para sectores específicos en el 2009, empezando con baterías usadas y medicamentos vencidos, e incluyendo RAEE y envases y empaques en el 2018.



Figura 1. Línea de tiempo. Marco normativo de la Economía Circular en Colombia (Elaboración propia)

I.4 Estrategias de Economía Circular

Existen diversas estrategias enmarcadas en la EC que fomentan y aportan al desarrollo sostenible y se implementan en la cadena de suministro contemplando producción y uso de productos y servicios (Prieto Sandoval et al., 2017). Estas estrategias se pueden desarrollar en las diferentes funciones de la cadena de suministro de un producto, desde su diseño, abastecimiento y adquisición de materias primas, pasando por su producción, distribución, uso o consumo y disposición final (World Business Council for Sustainable Development, 2018).

De manera transversal en toda la cadena de suministro se practica la estrategia anteriormente mencionada de REP, donde se extiende la responsabilidad “aguas arriba” hacia el productor respecto a la gestión de recuperación, reciclaje y disposición final de los residuos de productos y empaques al final de su vida útil. Además, esta estrategia tiene influencia en el diseño de producto, la elección de materiales de fabricación y la reducción de uso de elementos tóxicos en los procesos productivos (Lifset et al., 2013) .

En la función de diseño en la cadena de suministro se han implementado estrategias como el diseño cuna a cuna (*cradle to cradle*), donde se incentiva el diseño y desarrollo de productos que mediante ciclos biológicos y técnicos se puedan recuperar de manera efectiva componentes, materiales y se pueden retornar al inicio de su ciclo de vida (Peterson, 2004; Prieto-Sandoval et al., 2016). También, se ha implementado la estrategia de biomímesis, donde mediante el estudio de los procesos de la naturaleza, se logran imitar sus interacciones para aplicar sus principios en situaciones y problemas técnicos de las organizaciones (Prieto Sandoval et al., 2017).

En la función de abastecimiento se han desarrollado estrategias como el reciclaje, donde se asigna un determinado porcentaje de material recuperado como entrada para la elaboración de un producto (Braulio-Gonzalo & Bovea, 2020). También, se propone la estrategia de reuso, donde se reutilizan componentes o materiales que han sido descartados para cumplir con la misma función para la cual fue diseñado (World Business Council for Sustainable Development, 2018).

En la función de producción y distribución, se puede implementar la estrategia de simbiosis industrial, basada en los procesos de interacción que existen en la naturaleza. Consiste en el intercambio de materiales, subproductos y energía, entre diferentes empresas cercanas geográficamente. Las empresas se benefician con flujos de ingresos adicionales y reducción costos, además, se generan beneficios con la minimización de impacto ambiental y posibilidad de generación de empleos alternos (Holgado et al., 2016). También, se implementa la

desmaterialización, que consiste en generar el mismo producto o servicio usando menos material, mediante la optimización de procesos, digitalización de la venta del producto y la venta de la utilidad del producto como un servicio (Kasulaitis et al., 2019).

En la función de uso o consumo, una de las estrategias implementadas de EC, es la nombrada PSS, donde las organizaciones pueden ofrecer productos físicos, como un servicio en el que se incluye el mantenimiento, la administración y la gestión del producto por parte del productor o proveedor. Lo que pretende esta estrategia es extender el uso de los productos la mayor cantidad de tiempo posible, mediante mantenimiento, remanufactura y reciclaje (Lacy & Rutqvist, 2015).

En la función de disposición final en la cadena de suministro se aplican estrategias de desconstrucción y desmontaje de productos en componentes y partes. Esta estrategia permite recuperar elementos de valor que pueden ser reintegrados al ciclo de productos o generar ingresos adicionales (World Business Council for Sustainable Development, 2018). También, se aplica la estrategia de logística inversa, que consiste en generar un proceso de recolección de productos, componentes y materiales al final de su vida útil. Esta estrategia permite aplicar reutilización, reciclaje y devolución del consumidor al productor ayudando así a cerrar el ciclo del producto (Gómez Montoya et al., 2017). De manera general, una misma estrategia se podría aplicar en cualquier función de la cadena de suministro, e incluso se puede contemplar una estrategia como parte de la implementación de otra más general, por lo que no se consideran excluyentes sino complementarias.

1.4.1 Producto como Servicio (PSS)

La estrategia PSS es considerada como un nuevo modelo de negocio que potencializa la circularidad de los productos (Pieroni et al., 2019) extendiendo el uso de los productos la mayor cantidad de

tiempo posible, mediante la prestación de servicios como el de mantenimiento, reparación, remanufactura y reciclaje, pensado desde el inicio del diseño del producto (Lacy & Rutqvist, 2015). Esta estrategia combina productos tangibles y servicios intangibles para satisfacer las necesidades demandadas de los clientes (Tukker & Tischner, 2006). Las organizaciones pueden ofrecer productos físicos, como un servicio en el que se incluye la administración y la gestión del producto por parte del productor, puede incluir el pago por rendimiento y el pago por uso para ampliar la funcionalidad del producto y así incentivar una venta del uso, más que una venta del producto (Baines et al., 2007). PSS como modelo de negocio, ofrece soluciones integrales, genera beneficios sostenibles tanto al consumidor como a la compañía que brinda el producto y servicio, buscando que la organización sea competitiva, satisfaga las necesidades de los clientes y se tenga menor impacto ambiental que el generado por los tradicionales modelos de comercialización de productos (Mourtzis et al., 2015).

Esta estrategia a su vez permite tres niveles de orientación según su relación producto-servicio: (1) Orientado al producto, donde se generan asesorías y consultorías respecto al uso y características del producto, (2) Orientado al uso /servicio /solución, donde se generan arrendamiento de productos, alquiler de productos, modalidad de compartir y agrupar de productos, y (3) Orientado a resultados /sistema, en el cual hay un pago por unidad de servicio o resultado funcional (H. Kristensen & Remmen, 2019; Lacy & Rutqvist, 2015; Pieroni et al., 2019; Tukker, 2004; Yang et al., 2018). La diferencia entre estas perspectivas es la transición de producto a servicio, donde se pasa gradualmente de negociaciones transaccionales a relaciones colaborativas o asociaciones entre los grupos de interés (H. Kristensen & Remmen, 2019). En la Figura 2 se muestra un esquema de los niveles de orientación de la estrategia PSS.

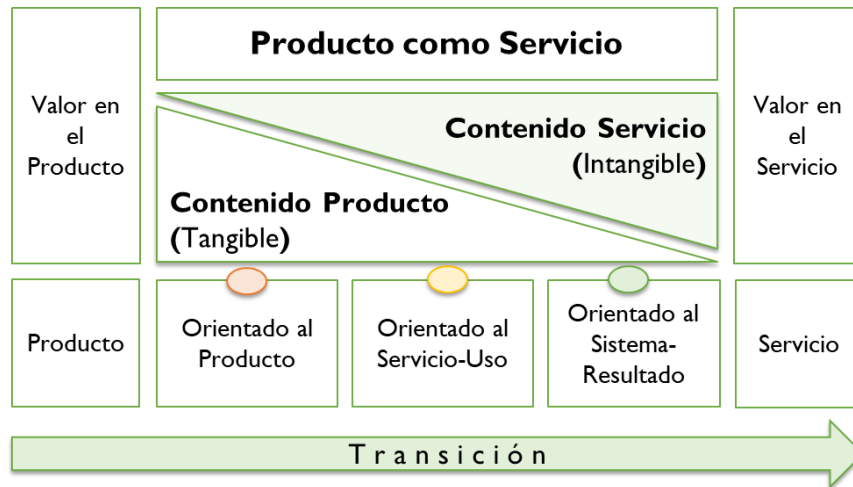


Figura 2. Niveles de Orientación estrategia PSS. Adaptado (Yang et al., 2018)

La estrategia de PSS ha sido implementada en diferentes sectores, a continuación, se describen ejemplos de implementaciones en cuatro sectores diferentes, automóviles, mudanzas, energía, y textil.

La Compañía BMW implementó en Alemania desde el año 2011, un servicio de movilidad compartida llamada "DriveNow", en sociedad con una agencia de renta de automóviles. Los usuarios mediante una aplicación móvil, pueden reservar, ubicar, desbloquear e iniciar el uso de un automóvil. Posterior al uso del vehículo el usuario puede dejarlo en cualquier punto donde finaliza su viaje, no requiere devolverlo a ningún punto central, el cobro del servicio está dado por unidad de tiempo y esto representa grandes ahorros cuando se compara con el costo de adquirir en propiedad un auto. De esta forma el grupo BMW explora más posibilidades fuera del negocio de venta de vehículos, teniendo en cuenta que el índice de utilización de un automóvil es de tan solo 4% del tiempo. Se proporciona el automóvil como una prestación del servicio de movilidad, y se incorporan conceptos para bajar impactos medioambientales, incluyendo modelos eléctricos y uso de materiales reciclados y ecológicos en la fase de manufactura (BMW GROUP, 2014).

En Estados Unidos y Canadá desde el año 2008, se encuentra la organización Frogbox, que brinda suministros y servicio de mudanza. Para esta labor ofrece a sus clientes contratar el servicio de “cajas móviles” para empacar sus elementos de mudanza, siendo esta una alternativa más económica y ecológica que la tradicional compra de cajas de cartón. Las cajas que alquilan son de plástico resistente y fácilmente reciclable (polietileno de alta densidad), se pueden reutilizar cientos de veces antes de ser recicladas, y su huella de carbono es más baja que la generada por las cajas de cartón, que en promedio se reciclan o desechan después de tan solo dos usos. Adicional a las ventajas de bajo costo, durabilidad y resistencia, las cajas tienen un diseño plegable para reducir el espacio requerido para su almacenamiento, son fácilmente apilables y son seguras para proteger los objetos de valor y delicados (National Zero Waste Council, 2019).

La compañía Phillips brinda el servicio de iluminación, provee y se hace cargo de toda la administración, gestión, mantenimiento e infraestructura necesaria para dicho servicio, como las lámparas, luminarias, cables y controles, para oficinas y edificios. El cliente paga un valor por el servicio integral de la iluminación, pero no adquiere el equipo o las materias primas usadas en los productos necesarios para dicha infraestructura. En medio de este proceso, se reutilizan y reciclan diversos elementos, se hace uso de energías renovables, se instala iluminación LED de bajo consumo, y se realizan estudios para aprovechamiento de luz natural, según los espacios a acondicionar, para generar el máximo ahorro posible. Todo ello contribuye a obtener beneficios ambientales y financieros tanto para el cliente como para el proveedor del servicio (*Circular economy snapshot: Philips light as a service*, 2015).

En Canadá la compañía Rent Frock Repeat, alquila vestidos de diseñadores reconocidos de todo el mundo mediante plataforma electrónica, por una pequeña fracción del precio del vestido. Esto es una alternativa para evitar que el cliente adquiriera prendas de alto costo a las que posiblemente de pocos usos. Esta práctica está enmarcada en un consumo colaborativo y conciencia social frente al consumismo y sus impactos, buscando incentivar que el ahorro transferido al cliente por obtener

un producto de alta calidad sin tener que adquirirlo sea invertido en organizaciones benéficas de carácter social (National Zero Waste Council, 2019).

I.5 Medición de desempeño

Un elemento ligado a las implementaciones de estrategias de EC, es la medición del desempeño que dichas estrategias tienen. Para ello se encuentran en la revisión de literatura y casos de estudio, diferentes propuestas y visiones de los autores para realizar dicha medición.

Partiendo de una visión general, se encuentra la propuesta de medición del impacto de la aplicación de la EC, en diferentes niveles de indicadores, nivel macro, meso y micro, según el ámbito en que se quiera enfocar la medición. Los indicadores macro realizan mediciones a nivel global, nacional, regional y en ciudades. Los de nivel meso miden desempeño en la simbiosis industrial o parques ecoindustriales y finalmente los indicadores de nivel micro se enfocan en medir al interior de cada industria o producto específico (H. S. Kristensen & Mosgaard, 2020). Particularmente, para el caso de implementaciones de PSS, es de interés resaltar la medición a nivel micro, pues se desarrolla en productos específicos. A su vez a nivel micro, se encuentran múltiples planteamientos para la medición y la evaluación de la eficiencia de los sistemas basados en la estrategia de PSS.

Uno de los enfoques encontrados es el sugerido por Banaitė y Tamošiūnienė (2016) que consiste en realizar la medición del impacto y desarrollo desde la perspectiva de sostenibilidad, donde se emplean indicadores de desempeño en sus tres dimensiones: ambiental, económica y social (Banaitė & Tamošiūnienė, 2016). Por otra parte, los autores Mourtzis, Fotia y Doukas (2015) han propuesto la agrupación de indicadores en cuatro categorías: Indicadores para la empresa proveedora de producto-servicio, indicadores para los clientes, indicadores de sostenibilidad e indicadores de producción esbelta (Mourtzis et al., 2015). Se encuentran también autores como

Qu, Yu, Chen, Chu y Tian (2016), que proponen la revisión de tres perspectivas para evaluar la estrategia PSS: perspectiva de valor para el cliente, perspectiva de sostenibilidad y perspectiva de *trade-off* entre las anteriores (Qu et al., 2016).

Sintetizando estos enfoques para la medición de desempeño, se puede plantear dos perspectivas globales, una referente a la sostenibilidad y sus tres dimensiones (ambiental, económica y social) y otra a los actores principales de la estrategia PSS (cliente y proveedor).

Para la perspectiva de sostenibilidad se encuentra que entre los indicadores más recurrentes de la dimensión ambiental, están el de consumo de energía, consumo de agua y consumo de materiales vírgenes (Kravchenko et al., 2019), en la dimensión económica se miden indicadores como el de costos operacionales con evaluaciones económicas que demuestren ahorros en costos (Öhgren et al., 2019), también el aumento de ventas y de utilidad por unidad de producto (Pieroni et al., 2019) y en la dimensión social, se asocian principalmente a indicadores de generación de empleo (Kravchenko et al., 2019). También se han usado herramientas específicas para esta perspectiva de sostenibilidad, como evaluaciones mediante dinámica de sistemas que puede contemplar la multidimensionalidad de la sostenibilidad PSS (Bosch et al., 2017), el uso de la metodología difusa Delphi donde se proponen criterios para medir el impacto de la aplicación de la estrategia y para identificar la consistencia de los criterios, además se ha planteado el uso de métodos de jerarquía analítica (AHP) para establecer la importancia o peso de los criterios seleccionados (Hu et al., 2012). Finalmente se ha aplicado análisis de ciclo de vida del producto, teniendo en cuenta como uno de sus objetivos disminuir la generación de emisiones contaminantes y extender el tiempo de utilización del producto (H. Kristensen & Remmen, 2019; Mourtzis et al., 2015).

Para la perspectiva de actores en PSS, se exalta la importancia del cumplimiento de las expectativas y requerimientos del cliente (Mourtzis et al., 2015). Entre los indicadores asociados al cliente se encuentran la fiabilidad del servicio, el tiempo de uso o frecuencia de uso, el mantenimiento, la

estabilidad e incertidumbre del producto como servicio, los tiempos de espera promedio, la confiabilidad a corto y largo plazo (Mourtzis et al., 2015), la percepción del rendimiento, la calidad y el precio del producto como servicio (Qu et al., 2016). Por otra parte, respecto al proveedor o empresa prestadora del producto-servicio, se incluye en la medición de desempeño la implementación de un plan de servicio integrado, desarrollo y diseño del producto y optimización de la red de transporte y costos en general (Hu et al., 2012). Dado que algunas de estas mediciones tienen una naturaleza de percepción, cumplimiento de requisitos de satisfacción, aceptabilidad y desarrollo de la estrategia PSS, se encuentra que estos aspectos se pueden medir mediante herramientas como encuestas o entrevistas de satisfacción (H. Kristensen & Remmen, 2019; Namsawat & Rugwongwan, 2020; Öhgren et al., 2019; Youngjin et al., 2016).

De manera general, se plantea que el éxito de la implementación de un PSS, parte de demostrar que es un modelo de negocio efectivo, que puede aumentar la competitividad y las ganancias de una organización y satisfacer las necesidades de los clientes, generando menor impacto ambiental que los modelos de negocio tradicionales de venta de productos (Hu et al., 2012), por ello la importancia del establecimiento y medición de indicadores o herramientas de medición del desempeño.

I.6 Estado del Arte

En esta sección se abordará casos encontrados de aplicación de estrategias de EC en el sector mobiliario, se evidenciará particularmente lo desarrollado e implementado en el marco de la estrategia PSS hasta este momento en dicho sector, además se describen los resultados de la revisión de literatura correspondiente.

En el sector mobiliario se han aplicado de manera emergente prácticas relacionadas con EC en las fases de diseño, manufactura, comercialización, uso, disposición y retorno. En la fase de diseño y manufactura se ha aplicado diseño ecológico, para seleccionar materiales de alta calidad y durabilidad, pero bajo impacto ambiental, además de generar diseños modulares para facilitar los desmontajes y reparaciones por partes e incrementar el ciclo de vida del producto y la reciclabilidad del mismo (European Furniture Industries Confederation, 2015).

En la fase de comercialización y uso, se proporciona información a los clientes de los materiales y composición del mobiliario a través de las ecoetiquetas, para incentivar al consumo consciente. Además, se comienza a implementar modelos de negocio como el arrendamiento de interiores y muebles, haciendo práctica la estrategia de PSS, considerando que desde dicha estrategia se puede mejorar el diseño del mueble pensando en su posterior reciclaje y prolongar la vida útil con servicios de mantenimiento y reparación, además de reutilizar piezas y remanufactura de muebles usados (Besch, 2005; Forrest et al., 2017).

En la fase de disposición y retorno, se aplican estrategias como REP, donde se incentiva a los fabricantes para que tengan consideraciones ambientales, desde el diseño del mueble, implementando modularidad y bajo consumo de recursos, hasta el fin de su vida útil, haciéndose cargo de la gestión de residuos y disposición final de dicho producto (European Furniture Industries Confederation, 2015).

Se encuentran algunas implementaciones particulares en el sector mobiliario que se evidencian a continuación:

Con la Red de Reutilización de Muebles del Reino Unido (FRN), mediante el comercio de muebles usados, se logró que aproximadamente 5000 toneladas de mobiliario fueran reutilizadas y como consecuencia, se dejaron de emitir 3600 toneladas de CO_2 , además de bajar los costos operacionales por adquisición de productos reciclados (Wrap, 2011).

Por otra parte, en España, mediante el Plan Español de Residuos 2016-22, se reacondicionan y reparan los productos mobiliarios del sistema de reciclaje y vertederos, para su reventa, generando así que permanezcan en el ciclo durante más tiempo (Forrest et al., 2017).

En Francia se implementa REP para la recolección, reciclaje y reutilización de muebles mediante entidades como Eco-mobilier y Valdelia, que tienen como parte de sus objetivos llegar a un porcentaje del 45% de reutilización y reciclaje de los muebles, para disminuir la disposición de desperdicios en los vertederos y evitar impactos ambientales (Forrest et al., 2017).

Adicional a ello, en Chile la organización Remuebla, realiza gestión sostenible de mobiliario, que se encarga de realizar remanufactura de muebles de oficina a partir de materia prima reutilizada, partiendo de un ecodiseño y fabricación sustentable, extendiendo de esta forma la vida útil de los muebles (País Circular, 2019).

Aunque se encuentran en la literatura algunas aplicaciones de PSS en el sector mobiliario, aún es un campo en el cual no se han definido claramente cómo abordar dicha estrategia y no existe claridad respecto a cómo medir su desempeño y evaluar sus beneficios para hacer de esta una estrategia viable y atractiva para adaptar en las organizaciones. La búsqueda y revisión de literatura para generar el estado del arte, se realizó mediante la base de datos bibliográfica Scopus, y los algoritmos de búsqueda usados fueron los siguientes:

```
TITLE-ABS-KEY ( "circular economy" AND "product-service" AND "Furniture" ) AND DOCTYPE ( ar OR re ) AND PUBYEAR > 2014
```

```
TITLE-ABS-KEY ( "product-service" AND "Furniture" ) AND DOCTYPE ( ar OR re ) AND PUBYEAR > 2014
```

En esta búsqueda de literatura se encuentran tan solo ocho investigaciones y las pertinentes relacionadas con PSS, seis específicas en el sector mobiliario, que muestran los últimos avances relacionados con la estrategia de PSS, cabe resaltar que hasta el momento hay pocos trabajos publicados de dicho tema en específico, por lo que este trabajo es una oportunidad para generar avances en el área de conocimiento. A continuación, se mencionan los trabajos encontrados y sus elementos relevantes:

Para mantener la competitividad en la oferta de productos, Youngjin, Mujin y Janghyeok (2016) sugieren un enfoque para generar estrategias innovadoras de PSS en el sector mobiliario. Este enfoque se consideran dos factores: necesidades generales del cliente y patrones de evolución del sistema empresarial. El trabajo sugiere identificar las necesidades que han sido cumplidas por los enfoques de PSS ya existentes en el mercado y, teniendo en cuenta la evolución de las empresas, se proponen nuevos conceptos con diferentes alcances de PSS que satisfagan necesidades que aún no se han tenido en cuenta, lo que genera mayor viabilidad, sostenibilidad y competitividad. Las necesidades del cliente se evalúan en las fases de compra, uso y disposición final, según el ciclo de vida del producto como servicio. Para la aplicación del caso ilustrativo, se comparan las estrategias de PSS usadas por 6 empresas del sector mobiliario y en total se evalúan 20 necesidades generales de los usuarios y se tienen en cuenta 12 variables de patrones de evolución del sistema empresarial. De acuerdo con los resultados se encuentra que las necesidades relacionadas con la fase de compras y uso han sido ampliamente consideradas en las estrategias de PSS, pero los de la fase de disposición final se han abordado incipientemente. De lo anterior se proponen nuevos conceptos de PSS que suplen las necesidades de los usuarios que no habían sido abordadas con las estrategias existentes, como el concepto de “casa abierta” que se utiliza para proporcionar descuentos en muebles nuevos a los clientes que abren su casa para que otros clientes potenciales puedan conocer sus muebles, e incentivar la compra de usados (Youngjin et al., 2016).

Por su parte, Khan, Mittal, West y Wuest (2018) realizan una revisión de varios trabajos de investigación, donde se expone que la competencia en los mercados y las cambiantes preferencias

de los consumidores, han causado ciclos cortos de vida útil en los productos (como principal ejemplo los tecnológicos) y en consecuencia han generado un aumento en el impacto ambiental y económico, dado el considerable aumento de frecuencia en el consumo de bienes y por tanto de desechos en los vertederos. En este trabajo se presenta la técnica de actualización de producto como una alternativa potencial para que permite la extensión de su vida útil de los productos contribuyendo así a la sostenibilidad de la sociedad. Encuentran que hay un interés creciente sobre la capacidad de actualización del producto bajo el contexto de los sistemas PSS e implementación de EC, enfatizando en la fase de diseño y remanufactura de productos para mitigar impactos ambientales. Sin embargo, uno de las conclusiones durante esta revisión muestra que la investigación sobre PSS se encuentra en una fase de trabajo teórico y se requiere generar más investigaciones empíricas y de aplicación práctica para validar y consolidar el concepto de PSS mediante metodologías claras y específicas (Khan et al., 2018).

Pieroni, McAlbone, y Pigosso (2019) muestran en su investigación el efecto de la configuración de nuevos modelos de negocio centrados en EC en los resultados de generación de valor para los clientes y utilidades para la empresa. La investigación se desarrolla en dos empresas Nórdicas de manufactura en el sector mobiliario, en las cuales se aplicaron modelos de PSS, donde el cliente se beneficia al obtener el uso del mueble bajo un esquema de arrendamiento, que incluye el servicio de mantenimiento y posterior devolución al final del contrato. Entre los hallazgos relevantes de dicha implementación, se identificaron características importantes que se deben tener en cuenta para que los modelos de negocio basados en PSS sean satisfactorios. Entre los factores se encuentran: la generación de valor para el cliente, la adecuada segmentación de los mismos según la necesidad específica a satisfacer, el crecimiento económico para la empresa y el potencial de desacoplamiento de recursos, todo esto facilitando modularidad, restauración y posterior reúso o reciclaje. Adicional a esto, se identificaron algunas barreras de las implementaciones de PSS, como el flujo de caja inicial negativo, la financiación y la durabilidad de los productos mobiliarios (Pieroni et al., 2019).

Kristensen y Remmen (2019) reconocen el potencial de los sistemas PSS para generar una producción y consumo sostenible, disminuyendo los impactos ambientales y generando ventajas comerciales en las industrias, además una transición hacia la EC. Se propone un marco para generar propuestas de valor sostenible, el cual se aplica en un caso de estudio en el sector mobiliario escolar en Dinamarca, donde se incluyen variables como precio, inversión, comodidad, diseño y manejo de recursos, buscando un equilibrio entre la economía, el medio ambiente y la sociedad. En este marco se contemplan tres perspectivas de PSS para la dotación de sillas, mesas y aulas escolares combinando productos y servicios: la perspectiva orientada al producto, orientada al servicio y la perspectiva orientada al sistema. Finalmente se encuentra que la perspectiva con mejor potencial para generar valor agregado es la de orientación al sistema, en la cual se requiere una integración y planeación conjunta entre los proveedores, la escuela, los profesores y estudiantes, lo cual generó que la propuesta de valor se desarrollará con la interacción y teniendo en cuenta las necesidades de todas las partes interesadas. El valor económico se genera con el alquiler de entornos de aprendizaje para un número definido de estudiantes, proporcionando la funcionalidad del producto, y el valor ambiental se logra reduciendo y ralentizando los ciclos de recursos con estrategias de ecodiseño, modularidad, mantenimiento, restauración, reúso y reciclaje (H. Kristensen & Remmen, 2019).

Namsawat y Rugwongwan (2020) realizaron una investigación en Bangkok con 124 empresas evaluadas como consumidores corporativos del sector mobiliario, para analizar el nivel de su conciencia ambiental y su patrón de compra y uso bajo un modelo de PSS. Se realizó una encuesta que evalúa las preferencias de adquirir muebles que consideren desmaterialización, descodificación, desenergización, mayor vida promedio, capacidad de reparación y reúso, además de facilidad de disposición final. Los datos recolectados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y se encontró que las empresas gubernamentales y las empresas grandes, tienen mayor interés en invertir en muebles bajo estrategia de PSS dado su efecto positivo al medio ambiente, en comparación con las empresas privadas y pequeñas. Por lo cual, se evidencia la necesidad de hacer énfasis y educar al consumidor en cuanto a los beneficios de invertir en muebles y servicio de mobiliario, con un diseño ecológico con bajo impacto medioambiental y dar

a conocer la relación costo-beneficio al momento de presentar propuestas de tipo PSS del contexto de EC (Namsawat & Rugwongwan, 2020).

Braulio-Gonzalo y Bovea (2020) muestran en un estudio que en España existe la contratación pública ecológica, la cual es una estrategia para reducir los impactos ambientales de productos, servicios y obras. El sector mobiliario se ha identificado como uno de los prioritarios para la adaptación hacia una EC, por ello son evaluadas 43 licitaciones para adquisición de mobiliario, se identifican criterios incluidos para establecer la importancia e inclusión que se da a consideraciones ambientales, comparadas con las técnicas y económicas al realizar las contrataciones públicas. Los resultados muestran que se han introducido progresivamente criterios ambientales pero su peso es significativamente menor al de características técnicas y valor económico, siendo este último el de mayor importancia. Por lo anterior, se evidencia un gran potencial en el sector mobiliario para innovar en el producto con etiquetas ecológicas que exalten los diseños ecológicos y entreguen mayor información del mismo, además de potencial para realizar capacitaciones de funcionarios públicos sobre la relevancia de EC, con el fin de que ellos incluyan requisitos ambientales en sus licitaciones para dotación de oficinas y desarrollar políticas que mejoren la circularidad del mercado mobiliario (Braulio-Gonzalo & Bovea, 2020).

En el estudio de Öhgren, Milios, Dalhammar, y Lindahl (2019) se investiga el potencial de la contratación pública para incrementar los volúmenes de muebles reacondicionados y remanufacturados en Suecia, y se concluye que los grandes impulsores para la generación de políticas públicas de contratación son los ahorros económicos y ambientales. Adicional a ello se identifica que las barreras más relevantes para adoptar prácticas PSS son la formación y educación de los contratantes público y la actualización de los criterios de contratación, además la contratación pública también puede apoyar productos actualizables a través de soluciones funcionales de adquisición y arrendamiento, promoviendo así los sistemas de productos y servicios mediante la implementación de modelos de adquisición basados en PSS.

De manera general esta revisión de literatura muestra que el sector mobiliario es uno de los emergentes en la implementación la estrategia PSS y con gran potencial de aplicación, se identifican actores y grupos de interés relevantes para el establecimiento de la estrategia, variables básicas y criterios a tener en cuenta para hacer la medición del desempeño de la estrategia , lo que es indispensable para mostrar que es un modelo de negocio efectivo, que puede aumentar la competitividad, ganancias de una organización y satisfacer las necesidades de los clientes, generando menor impacto ambiental que los modelos de negocio tradicionales de venta de productos (Hu et al., 2012) y hacer de dicha estrategia una atractiva tanto para las empresas prestadoras del producto-servicio, como para los clientes, y establecer si los modelos planteados serán acogidos en el mercado e implementados.

2. Configuración estrategia PSS

En este capítulo se presenta la propuesta para la configuración de la estrategia de PSS que permite ser aplicada como modelo de negocio en el sector del mobiliario, específicamente en mobiliario para IES. En las siguientes secciones se encuentra la identificación y descripción de los factores críticos y se agregan en dimensiones a su vez constituyen la configuración de la estrategia, basado en los resultados de la fase 2 de revisión de literatura y la fase 3 del planteamiento de la Configuración de estrategia, anteriormente descritas en la metodología.

Las adquisiciones tradicionales centran sus expectativas en la relación calidad-precio, pero las adquisiciones circulares son procesos en los que se compra un producto, servicio o proyecto bajo los principios de EC y pueden generar cambios en los hábitos de compra de los consumidores y las organizaciones. En estas adquisiciones, los aspectos técnicos del producto son circulares, tiene en cuenta factores como las de mantenimiento, reparación y devolución al final de vida útil con posibles incentivos financieros para garantizar la circularidad en su uso (Oppen et al., 2018). Aunque no existe una formulación única para lograr una contratación circular exitosa, basados en la revisión de literatura y según los hallazgos respecto a la estrategia y modelo de negocio PSS, en el sector mobiliario, se establece que la configuración de la estrategia comprende dos grandes etapas: Diseño y Evaluación (Pieroni et al., 2019; Youngjin et al., 2016).

2.1 Identificación Factores Críticos

En esta sección se clasifican y describen los factores críticos que se han identificado para la configuración de la estrategia PSS, algunos de ellos evidenciados en la revisión de la literatura y el estado del arte.

La descripción de los factores se aborda desde tres dimensiones: i.) Los actores involucrados e impactados en el desarrollo de la estrategia. ii.) El nivel de orientación de la estrategia PSS. Y, iii.) Los elementos que, en esencia son los que satisfacen las necesidades acordes a los actores y el nivel de orientación. Estas dimensiones son las que permitirán establecer la configuración de la estrategia y un enfoque diferenciador según sus categorías.

A partir de la revisión de literatura para la dimensión i.) se lograron identificar 15 actores involucrados e interesados en la implementación de la estrategia PSS, algunos descritos como grupos de interés, otros como entidades que interactúan y hacen posible el desarrollo de PSS. Estos actores se agruparon en cuatro categorías: Clientes, Proveedores, Gobierno y Redes Colaborativas, de acuerdo a su naturaleza comercial, interacción comercial, participación en las negociaciones, aporte en el desarrollo de la estrategia y en general que sea impactado o beneficiado por la implementación de la estrategia. A su vez, se establecieron subcategorías para los actores Clientes y Proveedores. Con respecto a los Clientes se establecieron tres subcategorías, de acuerdo a su naturaleza comercial y teniendo en cuenta que las necesidades varían de un tipo de cliente a otro las subcategorías son: entidad pública, entidad privada y consumidor directo. Por su parte, los proveedores se subcategorizaron en: proveedor fabricante de mobiliario y proveedor restaurador de mobiliario.

Respecto a la dimensión ii) los niveles de orientación de la estrategia PSS, se encuentran bajo diferentes nombres en la literatura y se identifican tres principales orientaciones que representan el nivel en el cual se combinan los productos tangibles y los servicios intangibles para satisfacer una necesidad del mercado. Se definen como orientación al producto, orientación al servicio y orientación al sistema (H. Kristensen & Remmen, 2019; Lacy & Rutqvist, 2015; Pieroni et al., 2019; Tukker, 2004; Yang et al., 2018).

Respecto a la dimensión iii) de elementos que integran y constituyen la estrategia PSS, se identificaron en la revisión de literatura 54 elementos relevantes, estos elementos se encontraban descritos como variables, factores, criterios, necesidades y características a tener en cuenta en las

implementaciones de PSS. Estos 54 elementos, según su definición, similitud y contexto, se agrupan en características correspondientes al producto y características del servicio.

En resumen, los factores críticos que se definieron como base para proponer la configuración de la estrategia PSS en mobiliario son tres dimensiones, cada una cuenta con unas subcategorías y su esquema se puede resumir como se muestra en la Figura 3.

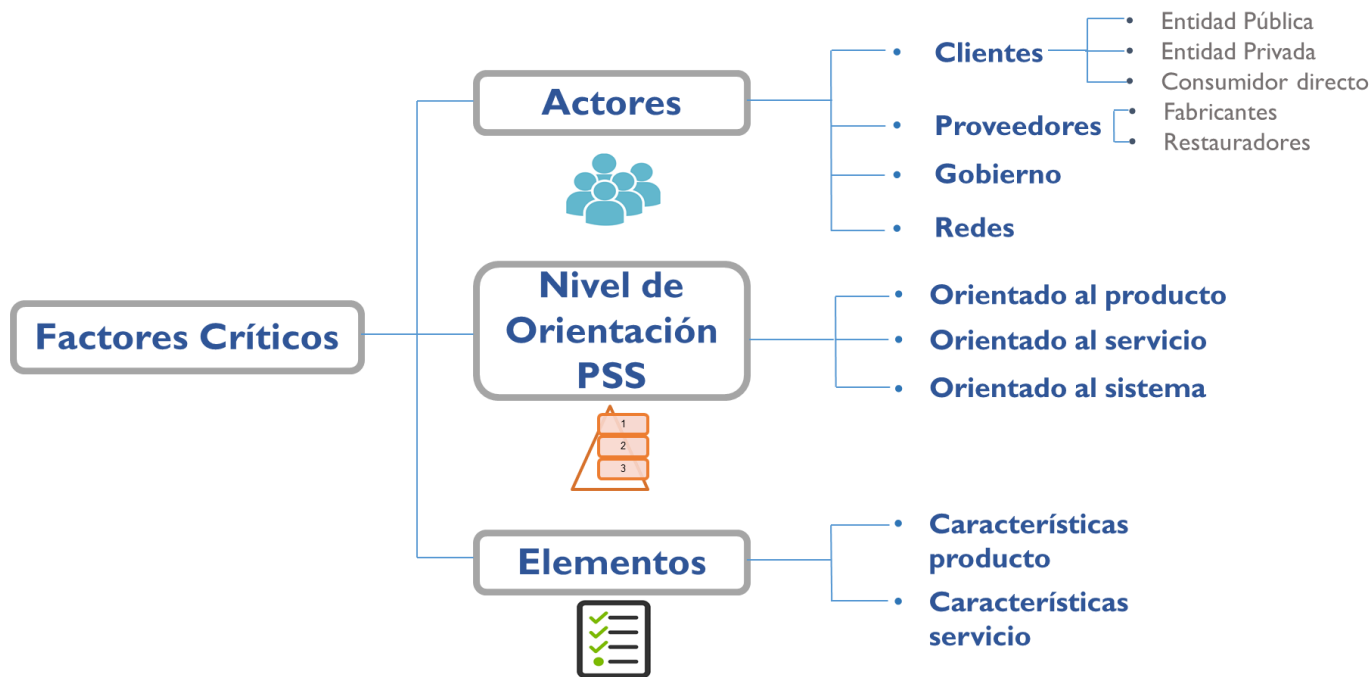


Figura 3. Esquema de factores críticos. Elaboración propia

Respecto a la dimensión iii) de elementos que integran y constituyen la estrategia PSS, dada la identificación mencionada, en una primera clasificación se obtienen 41 elementos como características de producto (CP) y 13 elementos como características de servicio (CS), las cuales se tienen en cuenta para la aplicación de la estrategia PSS en el sector mobiliario. Posteriormente se realiza la depuración, donde se agrupan, con el fin de agregar dichas características en unas que abarquen la definición, alcance y pertinencia de todas las características encontradas en la revisión

de literatura (54). De dicho proceso se obtiene como resultado el establecimiento de 20 características en total, 9 características de producto (CP) y 11 características de servicio (CS).

En la Figura 4 se muestra un diagrama que resume el proceso seguido para el establecimiento de los elementos que componen la tercera dimensión de los factores críticos.



Figura 4. Proceso para establecimiento de elementos (características de producto y servicio)

Cada una de estas características resultantes responde a necesidades puntuales de los actores y la orientación de PSS que deseen implementar. En la Tabla 1 se listan las características de producto y de servicio, establecidas luego del proceso mencionado.

Tabla 1. Lista de Características de Producto y de Servicios PSS

| Características de Producto | Características de Servicio |
|---------------------------------------|--|
| CP1 Costo | CS1 Duración de prestación del servicio |
| CP2 Capacidad de Actualización | CS2 Tiempo de garantía |
| CP3 Uniformidad | CS3 Tiempo de entrega |
| CP4 Ergonomía | CS4 Mantenimiento |
| CP5 Composición material | CS5 Reparación |
| CP6 Tiempo de ciclo de vida | CS6 Reposición |
| CP7 Modularidad | CS7 Oportunidad de Reciclaje |
| CP8 Diseño | CS8 Requerimientos logísticos |
| CP9 Normatividad vigente | CS9 Asesoría y capacitación de uso |
| | CS10 Escenarios de colaboración |
| | CS11 Capacitación y sensibilización en sostenibilidad |

Las características de producto son aquellas que se pueden identificar directamente en el mobiliario, en este caso particular las sillas universitarias y que desde la perspectiva de los actores son críticas para evaluar y percibir valor de la estrategia PSS, y la calidad del producto. A continuación, se da una breve descripción que se ha establecido para identificar cada una de las características de producto:

CP1 Costo: Costo de adquisición, costo arrendamiento o costo de implementación de servicios.

CP2 Capacidad de Actualización: Capacidad con la cual la silla puede cambiar de apariencia para adherirse a nuevos entornos.

CP3 Uniformidad: Apariencia física semejante en las sillas.

CP4 Ergonomía: Adaptación de las sillas para lograr mayor comodidad a los estudiantes.

CP5 Composición material: Contenido de materiales amigables con el medio ambiente y materiales reciclados en las sillas.

CP6 Tiempo de ciclo de vida: Tiempo en el cual la silla se encuentra en buenas condiciones para que sea funcional.

CP7 Modularidad: Diseño que facilite el desmontaje, cambio, reparación y reúso de las sillas por piezas.

CP8 Diseño: Característica estética de la silla que la hace atractiva para el cliente.

CP9 Normatividad vigente: Conjunto de leyes o reglamentos que rigen en el sector económico del mobiliario y a sus actores.

Por otra parte, las características de servicio son aquellas intangibles que hacen parte de la prestación del servicio que puede ser brindada por el proveedor de sillas universitarias y que, desde la perspectiva de los actores, son críticas para evaluar y percibir valor agregado de la estrategia PSS. A continuación, se da una breve descripción que se ha establecido para las características de servicio:

CS1 Duración de prestación del servicio: Periodo de tiempo por el cual se realiza un contrato de abastecimiento de sillas y los servicios involucrados.

CS2 Tiempo de garantía: Tiempo por el cual el proveedor de las sillas responde por la calidad prometida al cliente.

CS3 Tiempo de entrega: Rapidez de respuesta a un pedido de sillas.

CS4 Mantenimiento: Servicio adicional de mantenimiento preventivo o correctivo que permite la extensión de vida útil de la silla, manteniendo su funcionalidad y disponibilidad.

CS5 Reparación: Servicio de reparaciones menores como cambios de piezas, pintura, cambio de tornillos, etc., que permite la extensión de vida útil de la silla, manteniendo su funcionalidad y disponibilidad.

CS6 Reposición: Promesa de cambio de manera oportuna (rápida) de las sillas que tengan daños mayores que no permitan su funcionalidad.

CS7 Oportunidad de Reciclaje: Aprovechamiento de los componentes de la silla como material de reciclaje al final de su vida útil.

CS8 Requerimientos logísticos: Condiciones logísticas que permitan la gestión de abastecimiento de las sillas, incluyendo transporte, almacenamiento, recolección, reciclaje y/o disposición final.

CS9 Asesoría y capacitación de uso: Asesoría básica y capacitación que brinda el proveedor respecto al adecuado uso y mantenimiento de las sillas.

CS10 Escenarios de colaboración: Creación de estrategias de abastecimiento y gestión de las sillas, conjuntas entre diferentes actores.

CS11 Capacitación y sensibilización en sostenibilidad: Capacitación y sensibilización para clientes y proveedores respecto a la importancia de aplicar estrategias sostenibles y amigables con el medio ambiente.

2.2 Diseño estrategia PSS

En la etapa de diseño se establece la estructura para implementar la estrategia PSS como un modelo de negocio bajo EC, teniendo en cuenta los factores críticos establecidos en las tres dimensiones anteriormente mencionadas. Para articular estos factores críticos se plantea dar respuesta a tres preguntas orientadoras que llevarán a determinar los elementos para tomar decisiones frente a la implementación de la estrategia PSS, que permite materializarla como un

modelo de gestión de mobiliario en el marco de sostenibilidad y EC. La secuencia de preguntas orientadoras para articular las dimensiones de factores críticos es la siguiente:

- a) ¿Qué actores intervendrán en la estrategia PSS? En esta pregunta se articula la dimensión
 - i) Actores

- b) ¿Qué nivel de orientación se desea alcanzar? En esta pregunta se articula la dimensión
 - ii) Nivel de orientación PSS

- c) ¿Qué características debe satisfacer la estrategia PSS para cada actor de tal manera que se alcance el nivel de orientación PSS deseado? En esta pregunta se articula la dimensión
 - iii) Elementos

Específicamente, el diseño de la estrategia consiste en definir los que intervendrán en la implementación del modelo de negocio, y posteriormente definir en qué nivel de orientación de PSS se quiere desarrollar la estrategia PSS (Pieroni et al., 2019). Estas dos dimensiones que se definen, pueden tener múltiples combinaciones y acorde a ello (elección en la dimensión actores y de orientación) se establece qué elementos de la relación de producto y servicio se desarrollarán en la estrategia. Estos elementos se materializan mediante la inclusión de las nombradas características de producto y características de servicio que se han establecido anteriormente, y que se espera que la elección de dichas características, logren alcanzar el nivel de orientación de PSS deseada y satisfacer las necesidades de los actores involucrados.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el diseño de la estrategia se realiza la integración de estas tres dimensiones mediante una matriz, donde se relacionan dichos factores, estableciendo cuáles de los elementos identificados (características producto y características servicio) se deben tener en cuenta, en cada una de las combinaciones entre actores y niveles de orientación, como variables

importantes para toma de decisiones de configuración de estrategia. La matriz se muestra en la Figura 5.

| NIVEL DE ORIENTACIÓN PSS | CLIENTES | | PROVEEDOR | | | GOBIERNO | REDES | |
|------------------------------|---|--|---|--|--|---|---|---|
| | ENTIDAD PÚBLICA | ENTIDAD PRIVADA | CONSUMIDOR DIRECTO | RESTAURADORES | FABRICANTES | | | |
| Orientado al Producto | CP1 Costo (+) CP3 Uniformidad CP4 Ergonomía CP6 Tiempo de ciclo de vida CS2 Tiempo de garantía | CP1 Costo CP3 Uniformidad CP4 Ergonomía CP6 Tiempo de ciclo de vida CP8 Diseño CS2 Tiempo de garantía | CP1 Costo CP4 Ergonomía CP8 Diseño CS2 Tiempo de garantía | CP1 Costo CS2 Tiempo de garantía CS3 Tiempo de entrega | CP1 Costo CS2 Tiempo de garantía CS3 Tiempo de entrega | X | X | |
| Orientado al servicio | CP1 Costo CP3 Uniformidad CP4 Ergonomía CP5 Composición material CP7 Modularidad CS1 Duración de prestación del servicio CS4 Mantenimiento CS5 Reparación CS6 Reposición CS7 Oportunidad de Reciclaje | CP1 Costo CP3 Uniformidad CP4 Ergonomía CP5 Composición material CP7 Modularidad CP8 Diseño CS1 Duración de prestación del servicio CS4 Mantenimiento CS5 Reparación CS6 Reposición CS7 Oportunidad de Reciclaje | CP1 Costo CP2 Capacidad de Actualización (+) CP5 Composición material CP8 Diseño CS1 Duración de prestación del servicio CS2 Tiempo de garantía | CP1 Costo CP6 Tiempo de ciclo de vida CP7 Modularidad CS3 Tiempo de entrega CS7 Oportunidad de Reciclaje CS8 Requerimientos logísticos | CP1 Costo CP5 Composición material CP6 Tiempo de ciclo de vida (+) CP7 Modularidad CS7 Oportunidad de Reciclaje CS3 Tiempo de entrega CS8 Requerimientos logísticos | CP9 Normatividad vigente CS11 Capacitación y sensibilización en sostenibilidad | | X |
| Orientado al Sistema | CP1 Costo CP5 Composición material CP8 Diseño CP9 Normatividad vigente CS1 Duración de prestación del servicio CS3 Tiempo de entrega CS6 Reposición CS9 Asesoría y capacitación de uso CS10 Escenarios de colaboración | CP1 Costo CP2 Capacidad de Actualización CP4 Ergonomía CP5 Composición material CP8 Diseño CP9 Normatividad vigente CS1 Duración de prestación del servicio CS3 Tiempo de entrega CS6 Reposición CS9 Asesoría y capacitación de uso CS10 Escenarios de colaboración | CP1 Costo CP2 Capacidad de Actualización (+) CP4 Ergonomía CP5 Composición material CP8 Diseño CS1 Duración de prestación del servicio CS3 Tiempo de entrega CS6 Reposición CS9 Asesoría y capacitación de uso CS10 Escenarios de colaboración | CP1 Costo CP2 Capacidad de Actualización CP6 Tiempo de ciclo de vida CP7 Modularidad CS1 Duración de prestación del servicio CS3 Tiempo de entrega CS4 Mantenimiento CS5 Reparación CS8 Requerimientos logísticos | CP1 Costo CP5 Composición material CP6 Tiempo de ciclo de vida CP7 Modularidad CP9 Normatividad vigente CS1 Duración de prestación del servicio CS3 Tiempo de entrega CS6 Reposición CS7 Oportunidad de Reciclaje CS8 Requerimientos logísticos CS10 Escenarios de colaboración | CP9 Normatividad vigente CS8 Requerimientos logísticos CS10 Escenarios de creación y sensibilización en sostenibilidad | CP1 Costo CP5 Composición material CP6 Tiempo de ciclo de vida CP7 Modularidad CP9 Normatividad vigente CS1 Duración de prestación del servicio CS7 Oportunidad de Reciclaje CS8 Requerimientos logísticos CS10 Escenarios de colaboración CS11 Capacitación y sensibilización en sostenibilidad | |

Figura 5. Matriz de integración y diseño PSS

Por lo anterior, para cada combinación de dichas dimensiones se evalúa, cuáles de las 9 características de producto y cuáles de las 11 características de servicio, deben ser incluidas en la estrategia PSS, para el éxito de su implementación. El resultado de dicho proceso es el establecimiento de la matriz anteriormente mencionada, que muestra la habilitación de dichas características en cada combinación de actores y orientación PSS, lo que permite a cada organización que desee implementar PSS, tener un marco de referencia respecto a las condiciones de producto y de prestación de servicio que se pueden presentar en las contrataciones, negociaciones y en general la gestión de mobiliario bajo modelo de PSS, con enfoque sostenible y en el marco de EC.

3. Validación

En este capítulo se encuentra el desarrollo de la fase de validación donde se evalúa la propuesta de configuración de la estrategia de PSS. Para dicha validación se estructuran y se diseñan entrevistas semiestructuradas y un instrumento tipo cuestionario, que es implementado en un panel de expertos. Mediante las entrevistas semiestructuradas se construye y valida el proceso de adquisición de establecido en IES desde tres bloques de información: proceso de compra, proceso de uso e inventario y proceso de disposición final de las sillas. A través de este instrumento se valida principalmente la configuración de la estrategia de PSS, teniendo en cuenta tanto pertinencia como consistencia de los factores críticos ya definidos, en específico las características de producto y de servicio establecidas, además de la percepción de los expertos frente a la propuesta de configuración de estrategia PSS.

3.1 Diseño

Para la realización de la validación de la propuesta de la configuración de la estrategia PSS, según la revisión de la literatura, se elige realizar un panel de expertos donde, mediante entrevistas semiestructuradas, y aplicación de cuestionarios de carácter cuantitativo y cualitativo (Hu et al., 2012; RAND Corporation, 2020) se puede validar dicho diseño y adicional a ello, conocer la percepción y aceptabilidad que puede tener entre expertos frente a la iniciativa de un nuevo modelo de adquisición, uso y disposición de mobiliario en IES, basado en la estrategia de PSS (Escobar Pérez & Cuervo Martínez, 2008).

3.2 Metodología

El instrumento tipo cuestionario, cuenta con varias secciones, la primera sección llamada “su visión”, es introductoria donde mediante preguntas abiertas, los expertos pueden plantear su visión y postura frente al proceso de adquisición de mobiliario con inclusión de criterios de sostenibilidad y EC, específicamente adquisición de sillas universitarias en las IES. En la segunda sección, llamada “Nuestro enfoque”, se presenta el enfoque propuesto para la transición hacia un nuevo modelo de negocio PSS que considera e incluye criterios de sostenibilidad y EC, en la adquisición y uso de sillas mobiliario para IES, en esta sección se validan las características de producto y las características de servicio establecidas como parte de los factores críticos de la estrategia PSS. La tercera sección, llamada “Juego de roles”, consiste en que cada experto tome tanto el rol de cliente como el rol de proveedor e indiquen, según sus conocimientos y preferencias, cuáles de las características descritas considera relevantes e indispensables para la inclusión en el modelo de abastecimiento de PSS teniendo en cuenta sus diferentes orientaciones (i.e., producto, servicio, sistema). En la cuarta y última sección llamada “Oportunidades y barreras” se indaga según los criterios personales, conocimiento y visión de cada uno de los expertos, que pueden visualizar frente a oportunidades y barreras presentes en la implementación del modelo de adquisición y gestión de mobiliario en IES propuesto con criterios de sostenibilidad y en el contexto de la EC.

Se debe tener en cuenta que, aunque el enfoque general de este trabajo está dirigido a dar una guía de aplicación de la estrategia PSS en mobiliario para clientes o consumidores de instituciones tanto públicas como privadas o cliente directo como se muestra en el anterior capítulo y la matriz en la Figura 5, de manera particular el caso de estudio se desarrolla particularmente en una IES, por ello en diferentes preguntas del instrumento y las entrevistas, se enfocan en dichas instituciones.

3.3 Participantes

El panel de expertos estuvo constituido por 10 especialistas que participaron en el desarrollo guiado de un instrumento de tipo formulario, que consta de 15 preguntas de carácter cuantitativo y cualitativo. La selección e invitación a los expertos se realizó considerando tres perfiles específicos: 1) Expertos en economía circular 2) Expertos en sostenibilidad y 3) Expertos en procesos de abastecimiento. Para este último perfil fueron invitadas personas que estuviesen involucradas en el proceso de abastecimiento y compra de sillas universitarias para contar con su visión del proceso tradicional que se realiza.

3.4 Resultados

En las siguientes subsecciones se describirán los resultados más relevantes de cada una de las secciones que componen el instrumento, mencionadas anteriormente en la metodología.

3.4.1 Resultados sección “Su visión”

Como se mencionó anteriormente, en esta sección se indaga mediante preguntas abiertas como consideran los expertos que se debe gestionar y adquirir las sillas universitarias y qué factores, características, variables o procedimiento, se tendrían en cuenta en este proceso. En la Figura 6 se presenta la agrupación de las opiniones de los expertos en tres temáticas principales.

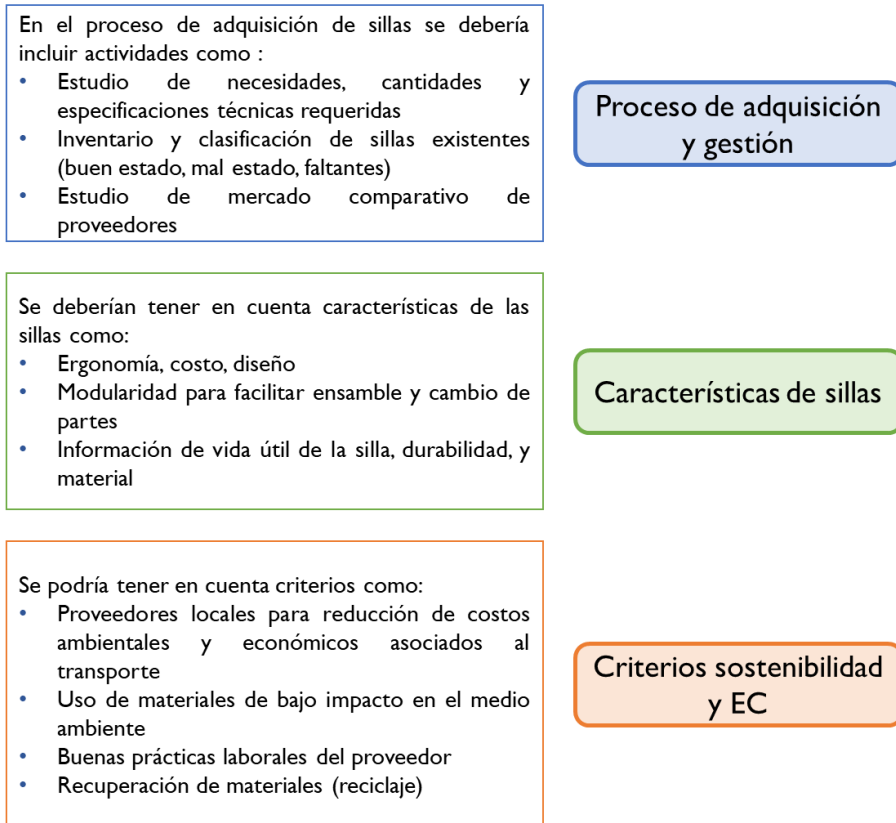


Figura 5. Ideas principales de expertos de sección "Su visión"

Una de las temáticas identificadas y en la cual los expertos coinciden, es la inclusión de actividades en el proceso de adquisición y gestión, como el estudio y evaluación de necesidades que justifiquen la adquisición de las sillas universitarias, además de un inventario de las sillas que permita identificar su estado y hacer trazabilidad a la vida útil de las mismas. Otra temática identificada son las características de las sillas que los expertos consideran importantes al momento de realizar la compra tales como: costo, ergonomía, diseño, modularidad y tiempo de vida útil. Finalmente, se identifica la temática de los criterios relacionados con sostenibilidad y EC, que para los expertos se deben tener en cuenta e incluir en los procesos de adquisición y gestión de mobiliario como lo es el uso de materiales de bajo impacto medioambiental, recuperación de materiales relacionado con la actividad de reciclaje, y evaluación de proveedores que incluya la revisión de condiciones dignas laborales.

3.4.2 Resultados sección “Nuestro enfoque”

Esta sección evalúa la pertinencia e importancia de los elementos considerados como un factor crítico, que se resumen en las 9 características de producto y 11 características de servicio. La finalidad de este proceso es generar una visión de la priorización de los factores críticos que serán variables de decisión respecto a características de servicio y características de producto que se deben incluir en el modelo de abastecimiento de sillas universitarias, es decir qué importancia tiene cada característica al momento de la implementación de este nuevo modelo de abastecimiento propuesto, y según dicha relevancia establecer cuáles de dichas características son indispensables incluir en las negociaciones entre cliente y proveedor.

Para ello, a los expertos se les da a conocer la definición de cada una de estas características y se indica que son características a tener en cuenta en la interacción, negociación y contrato que se pueden dar entre los diferentes actores involucrados en la estrategia de PSS. Posterior a esto, los expertos enumeran las características, para el caso de las características de producto de uno a nueve (siendo 1 la característica más importante y 9 la menos importante), generando unas posiciones de importancia. En la Figura 6 se muestra imagen de esta sección.

Nuestro enfoque

Las siguientes son las 9 Características de Producto que hemos identificado como relevantes para implementar Producto como Servicio. Nos interesa conocer la importancia que tiene para usted dichas características y generar un ranking de las mismas. Por lo anterior le solicitamos que enumere en orden de importancia de 1 a 9 las características según su criterio (siendo 1 el más importante y el 9 el menos importante). *

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Costo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Capacidad de Actualización | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Uniformidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ergonomía | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Composición Material | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Figura 6. Imagen sección "Nuestro enfoque"

Posteriormente para cada característica se evalúan las posiciones asignadas por todos los expertos, las cuales equivalen a puntajes. Los resultados de los puntajes acumulados y sus desviaciones estándar se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados Características de Producto

| Característica de Producto | Puntaje Acumulado | Desviación Estándar |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|
| CP1 Costo | 38 | 2.39 |
| CP2 Capacidad de Actualización | 48 | 2.25 |
| CP3 Uniformidad | 66 | 2.95 |
| CP4 Ergonomía | 42 | 2.49 |
| CP5 Composición Material | 42 | 1.69 |
| CP6 Tiempo de ciclo de vida | 45 | 2.46 |

| | | |
|---------------------------------|----|------|
| CP7 Modularidad | 42 | 3.05 |
| CP8 Diseño | 60 | 2.26 |
| CP9 Normatividad vigente | 68 | 2.57 |

Para la interpretación de estos resultados se tiene en cuenta que entre más bajo sea el puntaje acumulado la característica tiene mayor importancia. En la Figura 7 se muestran los resultados de los puntajes acumulados asignados por los expertos para las características de producto. Las barras muestran los puntajes acumulados, la primera posición es la asignada como más importante, por lo cual en la Figura 7 el costo es la característica con mejor posición e importancia.

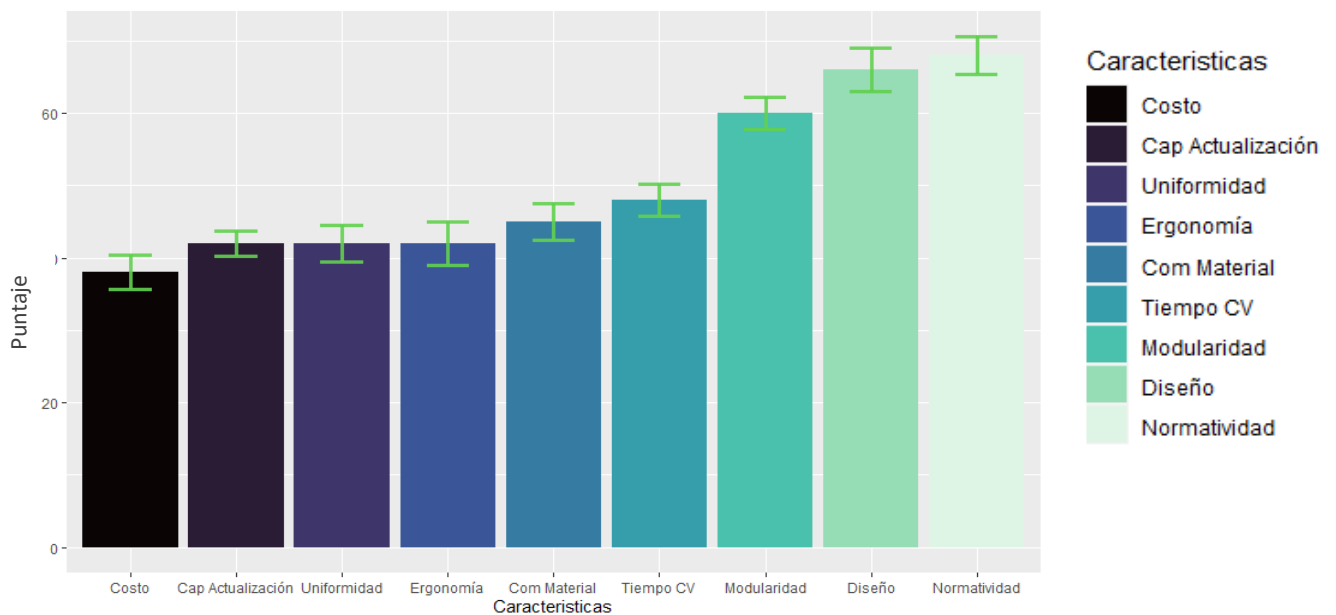


Figura 7. Resultados Panel de Expertos: Características de Producto

Entre las características con similar o igual puntaje acumulado se prioriza su posición en el ranking teniendo en cuenta la menor desviación estándar, considerando la menor dispersión en el criterio de los expertos, como es el caso de las características composición material, ergonomía y

modularidad las cuales tuvieron el mismo puntaje. En la Tabla 3 se muestra el ranking obtenido teniendo estas consideraciones.

Tabla 3. Ranking Características Producto

| Posición | Característica |
|----------|----------------------------|
| 1 | Costo |
| 2 | Composición material |
| 3 | Ergonomía |
| 4 | Modularidad |
| 5 | Tiempo de ciclo de vida |
| 6 | Capacidad de actualización |
| 7 | Diseño |
| 8 | Uniformidad |
| 9 | Normatividad Vigente |

El mismo proceso se sigue para establecer el ranking de las características de servicio, los resultados respecto a puntajes acumulados y sus desviaciones se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados Características de Servicios

| Característica de Servicio | Puntaje Acumulado | Desviación Estándar |
|---|-------------------|---------------------|
| CS1 Duración de prestación del servicio | 69 | 3.03 |
| CS2 Tiempo de garantía | 44 | 3.06 |
| CS3 Tiempo de entrega | 60 | 3.09 |
| CS4 Mantenimiento | 49 | 3.14 |
| CS5 Reparación | 55 | 3.03 |
| CS6 Reposición | 63 | 2.98 |
| CS7 Oportunidad de reciclaje | 66 | 3.10 |
| CS8 Requerimientos logísticos | 62 | 3.43 |
| CS9 Asesoría y capacitación de uso | 65 | 3.21 |
| CS10 Escenarios de colaboración | 65 | 3.87 |
| CS11 Capacitación y sensibilización en sostenibilidad | 62 | 3.61 |

De estos resultados se evidencia que las características de requerimientos logísticos y capacitación y sensibilización en sostenibilidad, tienen un puntaje acumulado igual y dada sus desviaciones estándar se dará mayor importancia a requerimientos logísticos. De igual forma ocurre para el caso de las características de Asesoría y capacitación de uso y Escenarios de colaboración, y para este caso se da prioridad en el ranking a Asesoría y capacitación de uso.

En Figura 8 se muestran gráficamente los resultados de los puntajes acumulados asignados por los expertos para las características de servicio.

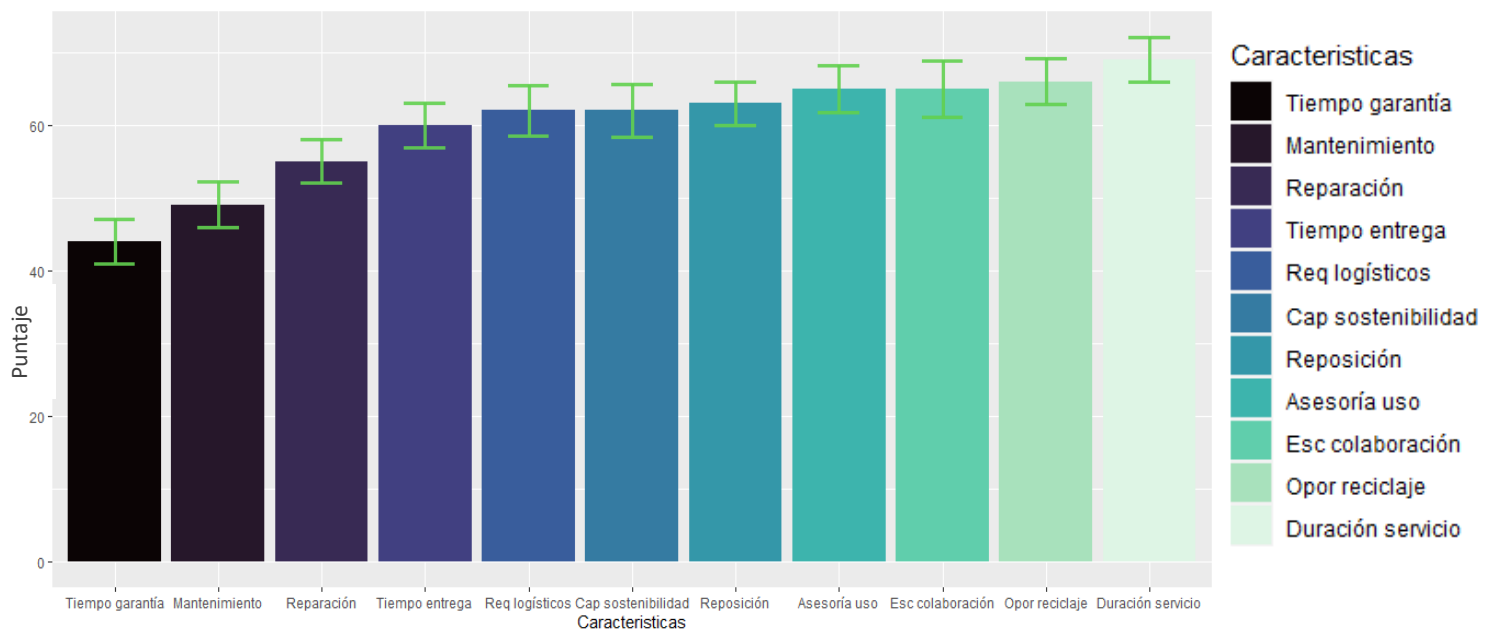


Figura 8. Resultados Panel de Expertos: Características de Servicio

La característica más importante para los expertos resulta ser el tiempo de garantía de las sillas y se establecen las posiciones en el ranking que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Ranking Características de Servicio

| Posición | Característica |
|----------|--|
| 1 | Tiempo de garantía |
| 2 | Mantenimiento |
| 3 | Reparación |
| 4 | Tiempo de entrega |
| 5 | Requerimientos logísticos |
| 6 | Capacitación y sensibilización en sostenibilidad |
| 7 | Reposición |
| 8 | Asesoría y capacitación de uso |
| 9 | Escenarios de colaboración |
| 10 | Oportunidad de reciclaje |
| 11 | Duración de prestación del servicio |

Dado lo anterior se puede concluir que entre las cinco características de producto prioritarias para incluir en el modelo de gestión de mobiliario basado en la estrategia PSS de economía circular, según los expertos incluidos en este panel son: Costo, Composición material, Ergonomía, Modularidad y Tiempo de ciclo de vida. Las características prioritarias de Servicio son: Tiempo de garantía, Mantenimiento, Reparación, Tiempo entrega y Requerimientos Logísticos. Dichas características deberían ser las primeras a abordar en caso tal de querer implementar esta estrategia.

3.4.3 Resultados sección “Juego de roles”

Las características de producto y de servicio son elementos a considerar en la estrategia PSS sin embargo, la visión de su importancia puede variar dependiendo del actor y del nivel de orientación que se quiere alcanzar con la estrategia PSS, que puede ser orientación al producto, al servicio o al sistema. En esta sección se desarrollan dos fases, la primera con la colaboración de todos los expertos donde se les solicita que, asumiendo tanto el rol de cliente como el rol de proveedor, indique de todas las características propuestas, según sus criterios, cual son las cinco principales e

indispensables a tener en cuenta para el proceso de adquisición de sillas universitarias. En la segunda fase centrados en el rol o actor particular de "Cliente" se cuenta con la colaboración de un experto que pertenece al proceso encargado de abastecimiento de sillas en una IES, y con dicho experto se realiza una entrevista adicional con el fin de establecer una priorización de las características resultantes en el panel de expertos, planteando el escenario en el cual se pasará de una compra tradicional u a una adquisición basada en la estrategia PSS Orientada al servicio. En la Figura 9 se muestran algunas imágenes de esta sección.



Figura 9. Imágenes sección "Juego de roles"

Rol Cliente

Para el caso de rol cliente la Tabla 6 se muestra cuáles características han seleccionado como indispensables en cada nivel de orientación de PSS en la primera fase con participación de todos los expertos. Se puede observar cómo, en el nivel de orientación al servicio, comienzan a cobrar relevancia características que implican actividades que impactan en la duración funcional del producto y que son servicios adicionales a los que en una compra tradicional se pueden encontrar como es el caso de la característica de mantenimiento, reparación y reposición. También, se ve la consideración en el nivel de orientación al sistema de características como composición de material y oportunidad de reciclaje, que indican interés en abordar el abastecimiento con circularidad e impacto en la sostenibilidad.

Tabla 6. Características producto y servicio según nivel de orientación PSS en "Rol Cliente"

| PSS Orientado al Producto | PSS Orientado al Servicio | PSS Orientado al Sistema |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Costo | Duración prestación de servicio | Tiempo de ciclo de vida |
| Ergonomía | Mantenimiento | Composición material |
| Tiempo de ciclo de vida | Reparación | Costo |
| Composición material | Reposición | Oportunidad de reciclaje |
| Diseño | Costo | Mantenimiento |

En la segunda fase con el experto en abastecimiento, el escenario planteado es una propuesta de PSS, donde se establece que la contratación de las sillas para la universidad se hará bajo el modelo PSS, y entre sus factores diferenciadores se encuentra que las sillas serán alquiladas y el proveedor estará encargado de prestar servicios como mantenimiento, reparación y reposición (basado en los resultados de la fase anterior y enfoque de PSS Orientado al servicio) que ayudará a que las sillas permanezcan en un estado óptimo para su uso, además repondrá las sillas que sean dadas de baja

en los inventarios, para asegurar que siempre se mantenga la cantidad de sillas requeridas por la universidad. Dado lo anterior, el cliente tendrá que realizar a selección del proveedor que mejor cumpla con las características para prestar dicho servicio. Para ello se construye con el experto una matriz de comparación pareada basada en el proceso de análisis jerárquico AHP (Yajure, 2015), donde se obtienen como resultado los pesos de importancia que se asignaran a cada característica. El experto asigna los valores a cada comparación en los campos superiores a la diagonal de la matriz, según la Tabla 7 que muestra la escala de Saaty. En la diagonal de la matriz de comparación pareada se asigna el valor de uno dado que se compara cada característica consigo misma (igual importancia) y en la parte inferior de la diagonal se asigna el valor inverso correspondiente a la asignación dada por el experto.

Tabla 7. Escala de Saaty para matriz de comparación pareada

| VALOR | DEFINICIÓN | COMENTARIOS |
|-----------|---|---|
| 1 | Igual Importancia | El criterio A es igual de importante que el criterio B |
| 3 | Importancia moderada | La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B |
| 5 | Importancia grande | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B |
| 7 | Importancia muy grande | El criterio A es mucho más importante que el B |
| 9 | Importancia extrema | La mayor importancia del criterio A sobre el B (está fuera de toda duda) |
| 2,4,6 Y 8 | Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar | |

La matriz compara las 5 características obtenidos en el panel de expertos con el rol cliente y orientación a servicio PSS en la mencionada primera fase. El resultado de dicho proceso es la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Matriz de comparación pareada para características según actor cliente y nivel de orientación al servicio

| MATRIZ | Costo | Duración servicio | Mantenimiento | Reparación | Reposición |
|--------------------------|--------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Costo | 1 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| Duración servicio | 0.20 | 1 | 7 | 5 | 5 |
| Mantenimiento | 0.20 | 0.14 | 1 | 5 | 5 |
| Reparación | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 1 | 5 |
| Reposición | 0.33 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 1 |

Posteriormente se realiza la normalización de dicha matriz, se calcula el valor promedio total por cada característica, se obtiene la ponderación y pesos de importancia para cada una, como se muestra en la Tabla 9. Se puede concluir que en el momento de ejecutar negociaciones respecto al abastecimiento de sillas en IES con la estrategia PSS orientada al servicio, la característica de mayor peso es la de costo, con un porcentaje de importancia del 42%, lo que puede indicar que pese a incluir servicios, la idea tradicional de comprar o alquilar productos a menor costo sigue siendo muy relevante para el cliente quien es el tomador de decisiones y encargado de la selección de proveedores.

Tabla 9. Matriz de comparación pareada

| MATRIZ | Costo | Duración servicio | Mantenimiento | Reparación | Reposición | Peso |
|--------------------------|--------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| Costo | 0.52 | 0.76 | 0.37 | 0.31 | 0.16 | 42% |
| Duración servicio | 0.10 | 0.15 | 0.52 | 0.31 | 0.26 | 27% |
| Mantenimiento | 0.10 | 0.02 | 0.07 | 0.31 | 0.26 | 15% |
| Reparación | 0.10 | 0.03 | 0.01 | 0.06 | 0.26 | 9% |
| Reposición | 0.17 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 6% |

Rol Proveedor

En el rol de proveedor los expertos seleccionaron las características que se muestran en la Tabla 10 como las indispensables para los diferentes niveles de orientación de PSS. Respecto a estos resultados, se puede resaltar que se considera en la Orientación al producto la característica *Normatividad vigente* para el sector mobiliario lo que es de interés para los proveedores pues deben cumplir con dichos lineamientos normativos. Adicional a ello, en la orientación al servicio se considera la característica *Capacitación y sensibilización en sostenibilidad* lo que es relevante para el proveedor pues estas capacitaciones permitirían que tanto el cliente que adquiere el producto-servicio, como el usuario final (estudiantes y profesores) de las sillas hagan un uso consiente y cuiden de dicho mobiliario, lo que beneficia al proveedor, quien en esta orientación de PSS es el que conserva la propiedad del mobiliario, dada la conservación de la funcionalidad y extensión de vida útil que esto puede implicar. Por último, se resalta que para la orientación al sistema se incluye la característica *Escenarios de colaboración* lo que es relevante dado que, para el proveedor es importante entender las necesidades y expectativas de los clientes y usuarios finales del mobiliario, para entregar de manera consensuada y efectiva una solución a la necesidad y no solo vender un producto.

Tabla 10. Características producto y servicio según nivel de orientación PSS en "Rol Proveedor"

| PSS Orientado al Producto | PSS Orientado al Servicio | PSS Orientado al Sistema |
|----------------------------------|--|----------------------------------|
| Composición material | Garantía | Duración prestación del servicio |
| Tiempo de ciclo de vida | Duración prestación de servicio | Costo |
| Costo | Capacitación y sensibilización en sostenibilidad | Composición material |
| Diseño | Oportunidad de reciclaje | Normatividad |
| Normatividad | Reparación | Escenarios de colaboración |

3.4.4 Resultados sección “Oportunidades y barreras”

En esta sección los expertos, según su conocimiento, criterios personales y visión sobre lo expuesto respecto a la posibilidad de un cambio en el modelo de adquisición y gestión del mobiliario en IES, basado en PSS, indican las barreras que consideran puedan existir para generar la transición a estos nuevos modelos de negocio donde se incluyen criterios de sostenibilidad y EC. Se sigue la misma metodología de agrupación de respuestas por similitud e identificación de ejes temáticos principales, como resultado se obtienen tres ejes temáticos principales que se muestran en la Figura 10.

Una de las temáticas recurrentes respecto a las barreras que identifican los expertos, es la correspondiente a la cultura existente en los procesos de adquisición de mobiliario tradicionales, donde se puede resaltar que el factor costo es el de mayor importancia cuando se trata de adquirir bienes y tomar decisiones de compra a corto plazo, sin considerar otros impactos y los beneficios medio ambientales que estrategias basadas en EC pueden conllevar a media o largo plazo. Adicional a ello, se hace recurrente la temática de barreras económicas a las que se pueden enfrentar los proveedores del producto-servicio y que puede ser un limitante para la aplicación de este modelo de adquisición dada la magnitud de la inversión y apalancamiento inicial. Finalmente, los expertos identifican barreras relacionadas con las limitadas capacidades logísticas de los sistemas de abastecimiento, que son las que permiten la circularidad del producto.

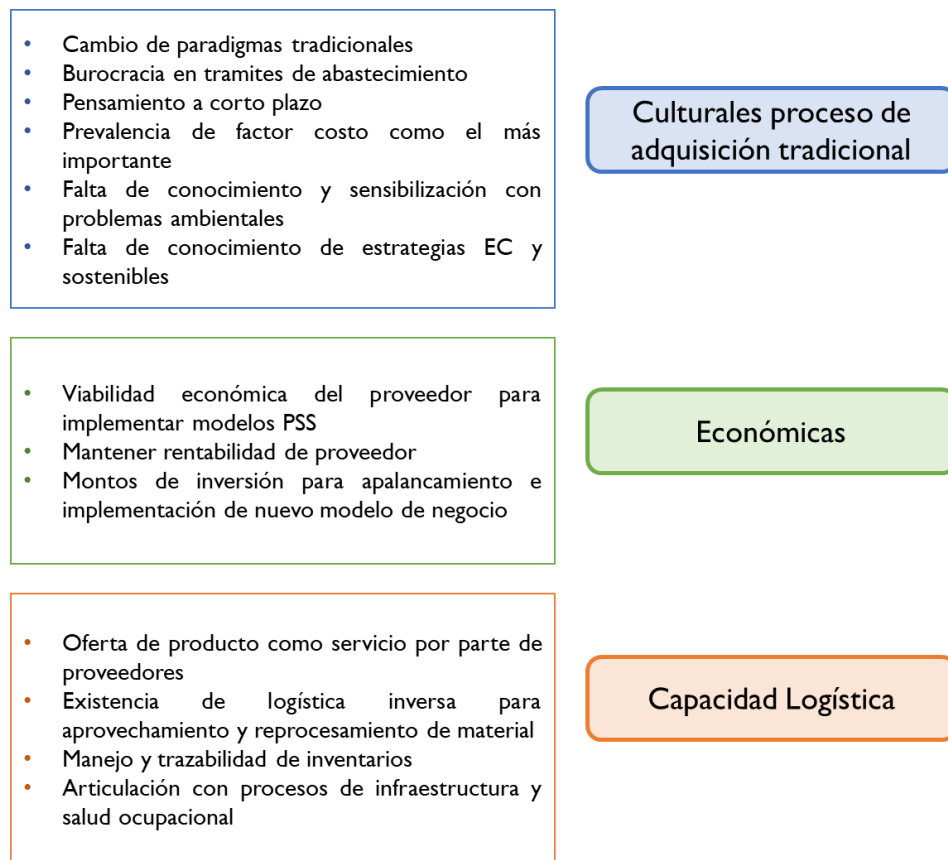


Figura 10. Ideas principales de expertos de sección "Oportunidades y barreras"

De igual forma se indaga con los expertos respecto a las oportunidades que se pueden visualizar según su contexto, experiencia personal y profesional, en la posible implementación de la estrategia PSS. La percepción general respecto a las oportunidades de PSS para el abastecimiento de mobiliario en las IES es positivo, la consideran una propuesta atractiva, que tiene potencial en su implementación, teniendo en cuenta que se podría demostrar su viabilidad económica y que las IES requieren cantidades considerables de mobiliario para cumplir con sus actividades misionales, lo que facilita la implementación y negociación con los proveedores. Se resalta que la implementación representaría una oportunidad de:

-
- Tomar conciencia y educar ambientalmente e incluir parámetros sostenibles que mejoren el producto.
 - Incentivar cambios en la forma tradicional de adquisición de bienes.
 - Concebir los modelos de negocios de EC como viables económica y ambientalmente.
 - Incentivar la creación de empresa y generación de empleo.
 - Asegurar la disponibilidad del 100% del mobiliario en funcionamiento.
 - Disminuir los costos de adquisición, reparación y aumentar la reutilización de mobiliario.

4. Caso de estudio: Modelo

En este capítulo se describe la implementación de un caso de estudio, donde se modela y simula el abastecimiento y gestión de mobiliario universitario en la Universidad de Antioquia. En una fase inicial se realiza el diagnóstico y caracterización del modelo actual de abastecimiento y gestión de mobiliario, mediante la información obtenida en entrevistas semiestructuradas, observación del proceso y solicitud de documentos e información. En una fase posterior se realiza el modelamiento del sistema actual y de un nuevo sistema de abastecimiento y gestión, teniendo en cuenta la propuesta de configuración de la estrategia PSS desarrollada y presentada en el Capítulo 3. Se valida el nuevo sistema a través de simulación con dinámica de sistemas que permite comparar los dos sistemas, a través de métricas de desempeño en el marco de economía circular como lo es el costo del abastecimiento, el uso de recursos y el impacto ambiental.

4.1 Diagnóstico

Esta fase se desarrolló con base en la gestión de mobiliario de dos dependencias de la Universidad de Antioquia: la Facultad de Ingeniería, Sede Medellín y la unidad de Regionalización de la Seccional Oriente. Se realizaron varias reuniones de contextualización y cuatro entrevistas semiestructuradas con personas pertenecientes al área de compras, abastecimiento y el proceso de logística e infraestructura de la Universidad, además de una entrevista con el proveedor de sillas para la

Facultad de Ingeniería de los últimos cuatro años, en donde se validaron datos de compra, costos, dinámica de contrato y posibilidad de cambios en términos de contratación.

En el abastecimiento y gestión de mobiliario actual para la Universidad de Antioquia, se identificaron tres procesos: compras, uso e inventario y disposición final. En el primer proceso se realiza la compra de sillas a un proveedor, para dicha compra la Universidad define un diseño específico con el que deben cumplir los proveedores (dimensiones, materiales, color, entre otros). En el segundo proceso se hace uso del mobiliario y periódicamente el área de inventarios ejecuta una revisión del estado de las sillas, determinando si se encuentra en buen estado para continuar su funcionalidad o si requiere una reparación básica que pueda ser realizada en la Facultad o, si por el contrario se encuentra en malas condiciones para su uso. En el tercer proceso las sillas en mal estado, que no son aptas para uso ni se puedan tratar bajo la reparación establecida, son entregadas a un área de reintegro para su disposición final y se define si la silla está en condiciones aceptables para ser ofertadas internamente en la Universidad o subastadas bajo la categoría de chatarra a externos. En la Figura 11 se muestra el proceso de gestión de sillas de manera general.

El mobiliario en la Universidad de Antioquia se puede adquirir bajo el marco del Plan de Desarrollo con el respectivo Plan de Acción Institucional y Planes de acción de cada una de las unidades académicas. En dichos planes de acción, se cuenta con una línea estratégica que se llama gestión administrativa, donde se enfocan remodelaciones o generación de nuevos espacios en las unidades académicas. Los proyectos matriculados de nuevo mobiliario pueden desarrollarse con búsqueda de recursos propios de Facultad, llamados recursos “estampilla” para infraestructura.

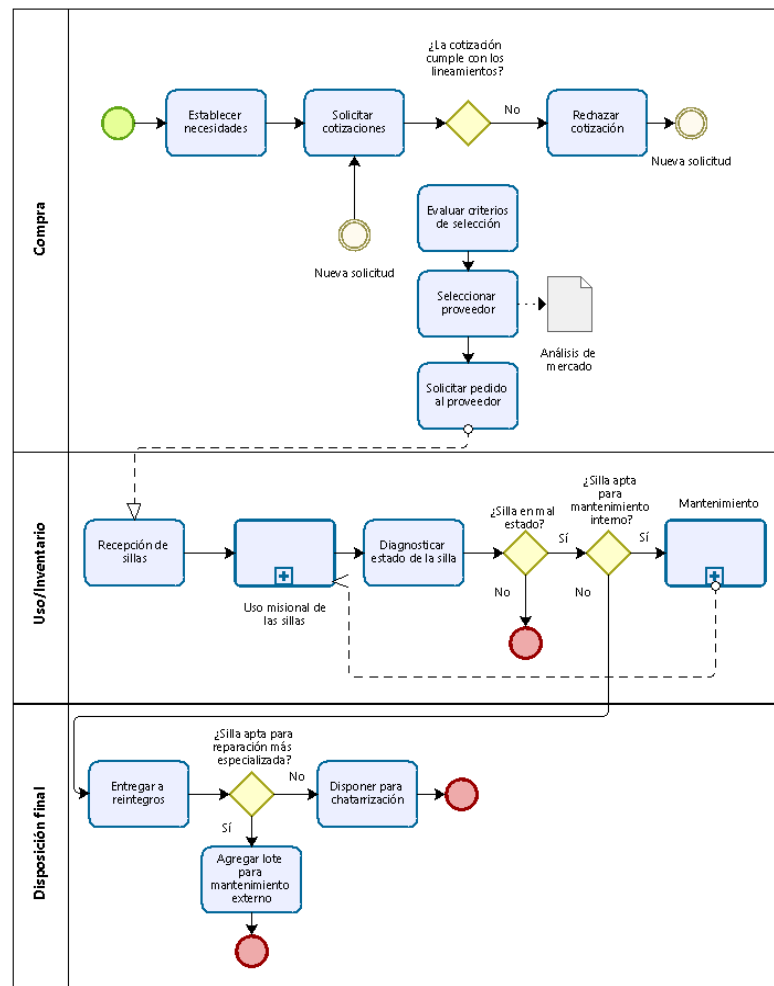


Figura 11. Proceso de gestión de mobiliario en dependencias de la Universidad de Antioquia

La Facultad de Ingeniería, según la información suministrada por el Departamento de Recursos de Apoyo e Informática (DRAI), cuenta con un presupuesto aproximado de 60 a 120 millones anuales, para dotación o renovación de sillas de estudiantes y sillas de oficina, según las necesidades de cada unidad académica. Como algunos datos generales se tiene que, se tienen disponibles en las aulas de clase aproximadamente 2373 sillas para alrededor de 7000 estudiantes de la facultad. Desde el 2017 se han adquirido 1924 sillas, con un valor que asciende a \$198.965.000. El proveedor de estas sillas, según los últimos términos de adquisición, tiene disposición y capacidad de reponer 1000 sillas anualmente según su contrato, lo que genera un gran volumen de sillas que pueden

rotar y salir de su ciclo de uso con reposición de nuevas sillas. Las sillas que salen del ciclo de uso se gestionan con el proceso de reintegro de la Facultad, entran a disposición final por diversos motivos como daños, falta de homogeneidad de diseño o averías simples, y muchas de estas sillas no pasan por un proceso de reparación o mantenimiento obligatorio.

Dada la anterior información obtenida en las reuniones de contextualización, se realizaron posteriormente entrevistas semiestructuradas que abordaron preguntas direccionadas a obtener información en tres bloques: proceso de compra de sillas para aulas, proceso de uso e inventario de dichas sillas y el proceso de disposición final de las mismas. Adicional a ello, se realizaron visitas de observación directa sobre el proceso de inventario y reintegros de mobiliario en un almacén general. Con base a la información obtenida mediante las entrevistas, observación de procesos y algunas solicitudes formales de documentos como: inventario de sillas, gestión de compras y selección de proveedores de los últimos cinco años, se logró consolidar la información respecto a los tres bloques anteriormente mencionados.

4.1.1 Compra de sillas

El proceso de compra de mobiliario se puede realizar bajo compra tipo pedido con contrato y licitación dependiendo de su cuantía. Cuando es bajo la modalidad de licitación, el proceso es acompañado por el área de jurídica dado que requiere estudios técnicos, estudio de calidades de proveedor y calidades de servicio posventa; de esta gestión se hace cargo el área de infraestructura directamente, con base a las necesidades expresadas de cada dependencia como cliente. El proceso de infraestructura realiza una propuesta, que es avalada por la Facultad, y posteriormente se entregan documentadas las condiciones técnicas o criterios de las sillas requeridas, y basado en ello se puede emitir una ponderación de criterios y seleccionar al proveedor que mejor se ajuste al requerimiento.

En los últimos años se han realizado compras tipo pedido Contrato de baja cuantía de hasta 150 SMMLV, esto implica que se debe hacer un estudio de mercado que corresponde a 2 o 3 cotizaciones con diferentes oferentes y un análisis del mercado donde se evalúan criterios de selección de proveedor mediante un cuadro comparativo, se selecciona el más favorable, mediante lineamientos mencionados del área de infraestructura y posibles visitas validadoras donde se verifica que el proveedor cumpla con los criterios que tradicionalmente son: precio, calidad de producto, tiempos de entrega, y garantía.

La trayectoria de la empresa como proveedor de la universidad y respuesta de garantía genera cierto respaldo de compra. Respecto a la calidad del producto, se refiere a los lineamientos de las condiciones técnicas de los materiales de las sillas, que el área de infraestructura ha definido para ser aceptable: el material (pasta, madera), resistencia y durabilidad, el calibre de la estructura metálica, tipos de anclaje y remaches.

Algo que resaltar respecto a la selección del proveedor de sillas, es que la oferta respecto a las características técnicas de las sillas es muy similar por parte de todos los oferentes, por lo que se encuentra que la elección finalmente se sesga al criterio de menor costo.

4.1.2 Uso e inventario de sillas

Respecto al uso de sillas, en la Facultad de Ingeniería es particular que las sillas tengan característica de uniformidad, y cada aula tiene un número de sillas asignado para una población de características especiales, como lo son estudiantes zurdos. La Universidad es la encargada de las reparaciones menores del mobiliario, para ello se realizan compras de repuestos de espaldares,

raquetas, asientos y tornillería, que son materiales con los cuales se realizan dichas reparaciones básicas.

Antes de finalizar cada semestre académico se realiza un inventario para dejar las aulas con la capacidad mínima de sillas habilitadas, y con dicha información se establece el requerimiento de sillas a reponer. Aquí se determina si la silla tiene un deterioro que requiera una reparación básica y cuales se encuentran fuera de dicho alcance y se dan por sentado como dañadas o en mal estado.

Dado que las sillas de aulas son económicas frente a otros activos, la Universidad no lleva un inventario de trazabilidad completo o específico (uno a uno), en su lugar se cuenta con un inventario general institucional y se hace seguimiento de las cantidades de cada bloque o facultad.

4.1.3 Disposición final de sillas

Las sillas dañadas o en mal estado son entregadas al área de reintegro para su disposición final, donde se dispone para chatarrización o subasta. Dado que no se tiene establecido un proceso estructurado de reparación o mantenimiento de las sillas se da por terminado su ciclo de uso, por lo que se evidencia una oportunidad para fortalecer la reparación, el reuso y reutilización de dicho mobiliario, cambiando el modelo de abastecimiento y gestión del mismo, con estrategias que tenga en cuenta la sostenibilidad del sistema como se plantea en la estrategia PSS. En la Figura 12 se muestra la caracterización de modelo de abastecimiento y gestión de mobiliario.

En resumen, en la etapa de compras se identifica que uno de los procesos críticos es la de selección de proveedores de las sillas, donde se deben establecer los criterios a evaluar y su importancia o peso para la selección y se concluye que de manera tradicional la elección del proveedor esta sesgada por el criterio de bajo costo. Adicional a esto, se identifica que en la etapa de uso e inventario no se tiene establecido un proceso estructurado que obligue a que las sillas pasen por

una etapa de reparación o mantenimiento, y que a su vez se posibilite la restauración, recuperación y extensión de vida útil de las sillas. Por lo anterior, se identifica una oportunidad para incluir en dichos procesos las características de producto y servicio establecidas en la propuesta de configuración de la estrategia PSS, que permitan abrir la posibilidad de generar cambios en los patrones de consumo, uso y disposición de las sillas, que posiblemente permitan generar impactos ambientales y económicos positivos.

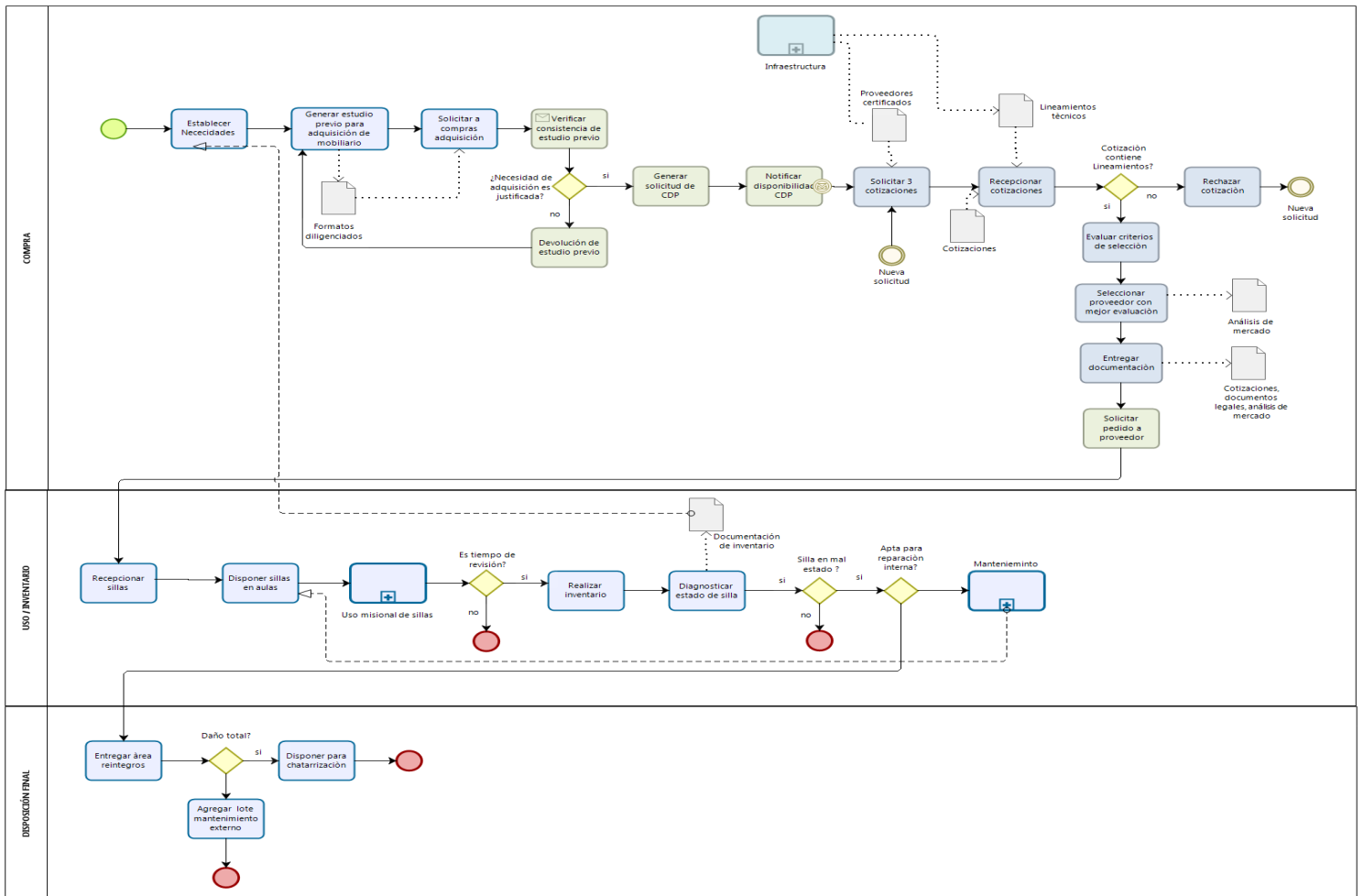


Figura 12. Caracterización detallada del proceso de abastecimiento y gestión de mobiliario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia

4.2 Modelo Dinámica de Sistemas

En esta fase se modela el sistema actual de abastecimiento y gestión de mobiliario en la Universidad de Antioquia, y se modela un nuevo sistema basado en la propuesta de configuración de la estrategia PSS, con el fin de entender el comportamiento comparativo de los sistemas, y el impacto de migrar de un modelo transaccional de compra de sillas a un modelo PSS con orientación al servicio, donde las sillas sean usadas por el cliente bajo un modelo de alquiler con servicio de reparación y mantenimiento administrado por el proveedor. Lo anterior se construye basado en el diagnóstico y caracterización de dicho proceso, la información oficial brindada y validada por el personal perteneciente al área de compras, de abastecimiento, de logística e infraestructura de la Universidad de Antioquia, el proveedor y los resultados validados de la propuesta de la configuración de la estrategia PSS.

La modelación de los sistemas se realizó mediante la técnica dinámica de sistemas que permite comparar el comportamiento de los dos sistemas de manera agregada (Bosch et al., 2017; da Silva, 2018; Qu et al., 2016) teniendo en cuenta la inclusión de variables que evalúen su desempeño en el marco de economía circular y que sean de interés para el cliente y el proveedor, como el costo del abastecimiento, la cantidad de sillas usadas para satisfacer la necesidad y el impacto ambiental.

En las siguientes subsecciones se desarrolla la metodología seguida para establecer los modelos de simulación con dinámica de sistemas, que consiste en los siguientes pasos para el modelamiento: conceptualización del problema, hipótesis dinámica, formulación del modelo de simulación, políticas, resultados y validación (Rahmandad & Sterman, 2012; Sterman, 2004).

4.2.1 Conceptualización del problema

El modelo actual de abastecimiento y gestión de sillas implica la compra de sillas de forma anual que se realiza para la reposición de sillas irreparables o perdidas que se han identificado como no aptas para el uso de los estudiantes. Validando con información brindada, la cifra de reposición anual oscila entre 28% y 35% del total de las sillas en inventario, dichas sillas requieren ser compradas nuevamente, lo que indica una rotación anual de aproximadamente un tercio de las sillas.

La adquisición de estas nuevas sillas representa elevados costos de compra y generación de impactos medio ambientales dado que, a mayor reposición de sillas, mayor es la demanda de estas a los proveedores y mayor cantidad de sillas se deben producir, generando consumo de recursos materiales e insumos que implican un impacto en el medio ambiente. Adicional a ello, como se menciona en la sección anterior, en el proceso no se incluyen criterios de sostenibilidad en la selección de proveedores ni se cuenta con un proceso estructurado de reparación o mantenimiento que permita de alguna manera mitigar la cantidad de sillas no aptas y por ende reducir el consumo de las mismas.

4.2.2 Hipótesis dinámica

Las sillas en uso son las que se encuentran físicamente instaladas en las aulas de la Facultad, a este activo se le realiza un inventario periódicamente en el cual se determina si pueden seguir en uso o si son defectuosas y no aptas para su uso (tasa defectuosas). De esas defectuosas se identifica un porcentaje (tasa reparación) que puede ser reparado internamente en la Facultad y que una vez son reparadas vuelven a ser parte de las sillas en uso, y otro porcentaje (tasa irreparables) que son sillas irreparables y que deben reponerse. La reposición consiste en adquirir con el proveedor nuevas sillas, este proceso se desarrolla anualmente. Las sillas requeridas son las que se han

estimado como necesarias para dotar las aulas universitarias de la Facultad en particular y satisfacer la necesidad para la totalidad de estudiantes, lo esperado es que las sillas en uso correspondan al total de las requeridas, por ello se realizan las adquisiciones para reemplazar aquellas que no se pueden reparar.

En la Figura 13 se muestra el diagrama causal que representa la estructura y comportamiento del sistema actual, las relaciones, dinámica e influencias causales entre las variables y los ciclos relevantes. Las flechas conectan las diferentes variables y están acompañadas de un signo (+ o -) que denota la polaridad positiva o negativa de la influencia causal entre dichas variables, así, en caso tal que el signo sea positivo significa que un aumento en la variable de donde parte la flecha causa un aumento en la variable donde llega la flecha, además se denotan los ciclos identificados que pueden ser de naturaleza de refuerzo (R) que indican crecimiento, o de balance (B) que indican equilibrio (Rahmandad & Sterman, 2012).

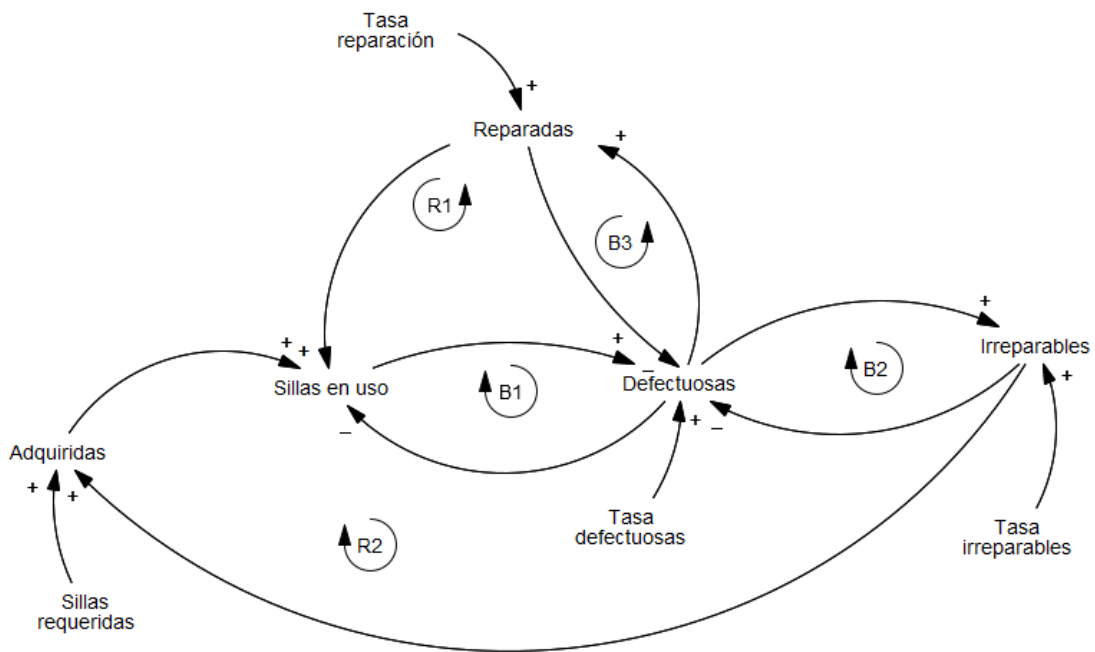


Figura 13. Diagrama causal proceso actual Gestión de Mobiliario

A mayor cantidad de sillas en uso, mayor es la cantidad que se deterioran y pasan a ser parte del grupo de defectuosas, como dichas defectuosas son retiradas de las aulas, a mayor cantidad de defectuosas menor es la cantidad de sillas en uso por ello, como se denota en el diagrama causal, se genera un ciclo de balance B1. Por otra parte, a mayor cantidad de sillas defectuosas, se tendrá mayor cantidad de sillas que pueden ser reparadas y a más reparaciones, más sillas serán habilitadas para su uso, por ello se genera un ciclo de refuerzo R1. Otra causa efecto a resaltar representada en el diagrama causal, es ciclo R2 generado entre las variables irreparables y adquiridas, donde a mayor cantidad de sillas irreparables mayor es la cantidad de sillas adquiridas, esto para satisfacer la necesidad de las sillas que son requeridas para la totalidad de los estudiantes, en esta relación se evidencia una oportunidad de mejora, no solo respecto a la posibilidad de disminuir la cantidad de sillas que se compran y que generan un impacto medio ambiental, sino que al disminuir dichas adquisiciones, se disminuirían los costos de las compras, generando un beneficio económico. Por ello se plantea que dado el poder de negociación y magnitud de las contrataciones que realiza la Universidad de Antioquia se podría proponer un nuevo modelo de adquisición de mobiliario basado en la estrategia PSS, esperando aportar a la sostenibilidad con disminución de uso de recursos (beneficios ambientales) y reducción de costos (beneficios económicos). Para ello se modelará tanto el sistema actual como el propuesto, para entender su comportamiento y el impacto en variables de interés.

4.2.3 Formulación del modelo de simulación


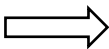


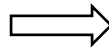

El objetivo en esta formulación es modelar el flujo de sillas necesarias en el sistema para satisfacer la demanda y los costos que implican tanto en el modelo actual como en el propuesto. A partir de dinámica de sistemas se espera encontrar los elementos que pueden hacer atractivo y viable, tanto económicamente como ambientalmente, la aplicación de un modelo de PSS, ello mediante la revisión de impacto de los parámetros (da Silva, 2018; Sterman, 2004). Como se mencionó anteriormente, se modela tanto el sistema actual como el propuesto, mediante flujos y niveles, que son los conceptos centrales de la teoría de dinámica de sistemas, siendo los niveles

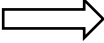

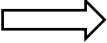



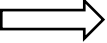
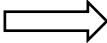

acumuladores los que muestran el estado del sistema y los flujos las tasas de desacoplamiento que permiten la dinámica y desequilibrio en el sistema (Sterman, 2004). Entre las consideraciones generales para la construcción del modelo de dinámica de sistemas se encuentra que: se limita la modelación los procesos de compra y uso e inventario de las sillas; se define el horizonte temporal de 5 años y el paso de simulación es mensual. A continuación, se describe la formulación del modelo actual y modelo propuesto.

Modelo actual

Para el modelo actual, la definición de las variables se muestra en la Tabla 11, en ella se indica si corresponde a un flujo, un nivel, una constante que es parámetro, o una variable auxiliar que permite realizar cálculos con niveles flujos y constantes.

Tabla 11. Variables Modelo Actual

| Símbolo | Variable | Clasificación | Descripción | Valor Inicial |
|---|------------------------|----------------------|---|----------------------|
|  | Sillas en uso | Nivel | Sillas dispuestas en aulas para uso de estudiantes | 2373 |
|  | Sillas defectuosas | Flujo | Sillas que después de inventario se declaran no aptas para uso | 0 |
|  | Tasa de defectuosas | Parámetro | Porcentaje de sillas en mal estado (34% - 47%) y no aptas para uso | anual |
|  | No aptas | Nivel | Sillas no aptas para uso, según su daño esperan ser reparadas o descartadas | 0 |
|  | Sillas para reparación | Flujo | Sillas no aptas a las que se les realiza una reparación menor: cambio de raqueta, asiento, espaldar, ajuste tuercas, tornillos y arandelas. | 0 |
|  | Tasa de reparación | Parámetro | Porcentaje de sillas a las que se les puede realizar una reparación menor | (6%-12%) anual |

| Símbolo | Variable | Clasificación | Descripción | Valor Inicial |
|---|-----------------------|---------------|--|-------------------|
|  | Sillas reparadas | Flujo | Sillas que fueron reparadas y que vuelven a las aulas para ser usadas | 0 |
|  | Total de reparaciones | Nivel | Total de sillas que fueron reparadas en todo el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Sillas irreparables | Flujo | Sillas no aptas a las que dado su condición o daño, no se les puede recuperar mediante la reparación menor y salen del sistema | 0 |
|  | Tasa de irreparables | Parámetro | Porcentaje de sillas que dado su condición avanzada de daño o deterioro no se pueden reparar ni usar | (28% - 35%) anual |
|  | Total de irreparables | Nivel | Total de sillas que se descartaron y salieron del sistema en todo el horizonte temporal de la simulación | |
|  | Sillas requeridas | Parámetro | Total de sillas que se requieren para dotar las aulas de la Facultad | 2373 |
|  | Sillas de reposición | Flujo | Sillas que tienen que ser compradas para satisfacer la demanda | |
|  | Adquiridas | Flujo | Sillas que se compran al proveedor y que entran a ser usadas | |
|  | Total adquisiciones | Nivel | Total de sillas que son compradas durante el horizonte de simulación para satisfacer la demanda | 2373 |

El modelo de flujos y niveles correspondiente al modelo actual de gestión de sillas universitarias se desarrolla en el software Powersim Studio 10, y se muestra en la Figura 14.

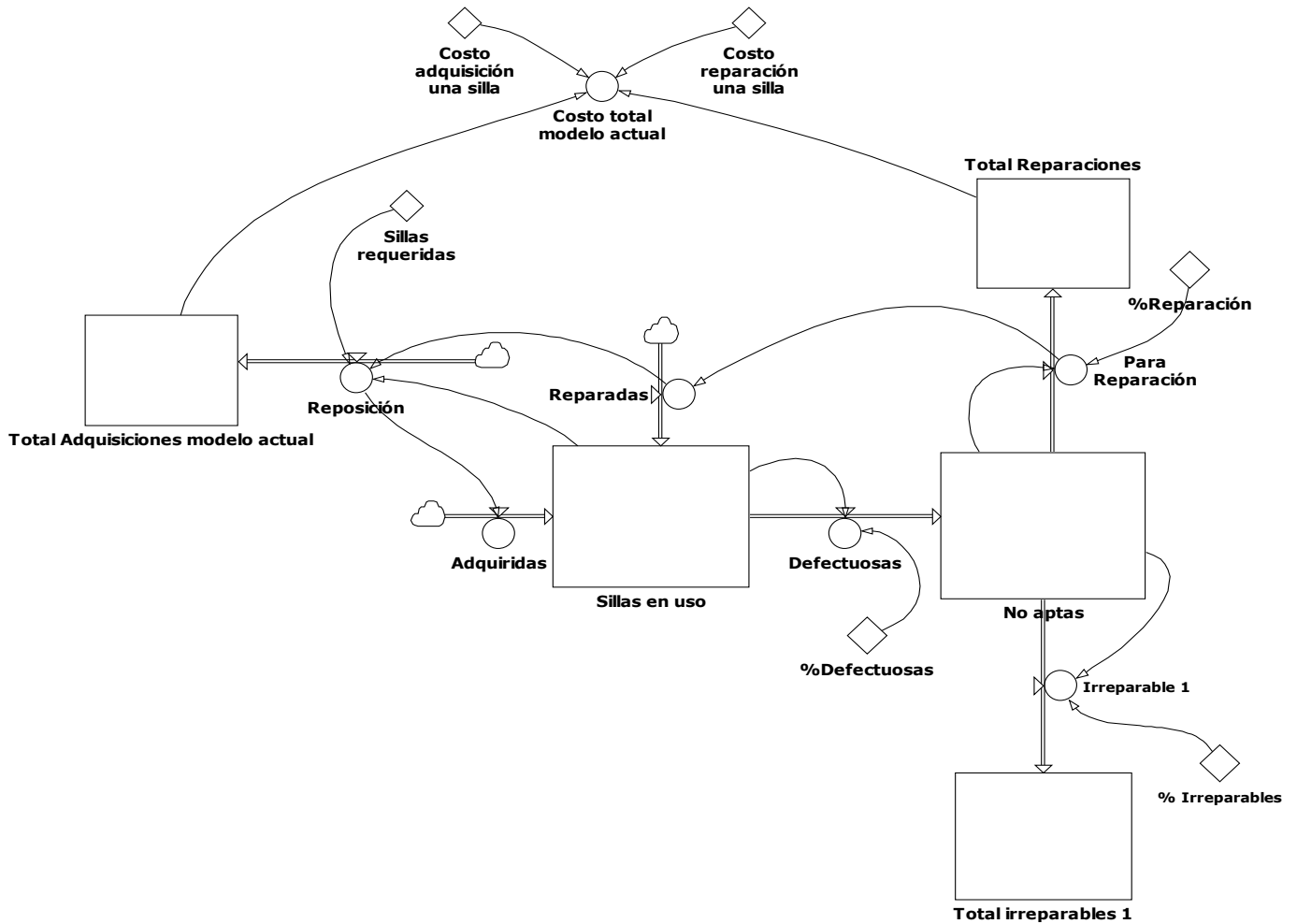


Figura 14. Modelo sistema flujos y niveles del proceso actual

Es de resaltar que se incluye el cálculo de costos en el modelo, el parámetro de costo de adquisición de las sillas es de \$95.000, que es lo que le cuesta a la Facultad la compra de cada una de las sillas nuevas que deben adquirir, adicional a ello como se describe en la Tabla 11, la reparación que se realiza internamente en la Facultad para habilitar las sillas, consiste en cambio de partes específicas

como la silla, el asiento y la tabla de soporte de escritura llamada “raqueta”, además de ajustes de tornillos, remaches y arandelas, por ello el costo de reparación estimado por cada silla se basa en la información brindada respecto al costo de compra de dichos elementos necesarios para realizar la reparación, que es de \$16.600 por cada silla. Con dichos parámetros y los niveles de “*total adquisiciones modelo actual*” y “*Total reparaciones*”, se calculan los costos mediante la variable auxiliar “*Costo total modelo actual*”.

Modelo Propuesto PSS

Para la construcción del modelo propuesto se tuvieron en cuenta los resultados expuestos en los capítulos de diseño de la estrategia y validación. Dada la naturaleza de la Universidad de Antioquia se ajusta y delimita el modelo propuesto. Lo primero a resaltar es que las características de producto y servicio incluidas en las posibles configuraciones de PSS, tendrán que ser acordes a los factores críticos correspondiente a las necesidades de los actores y el nivel de orientación PSS que se desea lograr (orientación al producto, orientación al servicio, orientación al sistema). Para definir el actor al cual está enfocado el modelo, se tiene en cuenta que la Universidad de Antioquia es nuestro referente principal y corresponde al actor cliente, y que su proceso de adquisición y gestión de mobiliario es una forma tradicional de compra de producto, donde no se incluyen criterios de sostenibilidad en la compra, por ello pensando en una transición gradual hacia PSS, el nivel de orientación al cual se enfocará el modelo propuesto es el de nivel de orientación al servicio, mostrando una transición paulatina de inclusión de servicios que permitan la extensión de vida útil de las sillas y potencialicen la sostenibilidad del sistema combinando productos tangibles y servicios intangibles.


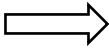


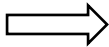

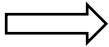

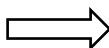
Teniendo en cuenta estos dos factores: actor cliente y nivel de orientación al servicio, se incluyen las características más relevantes obtenidas para esta combinación de factores como se muestra


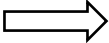


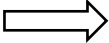

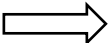


en la Tabla 6. Características producto y servicio según nivel de orientación PSS en "Rol Cliente": Costo, Duración prestación de servicio, Mantenimiento, Reparación, y Reposición.


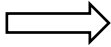


Se establecen como elementos diferenciadores, que las sillas no serán compradas por la Universidad de Antioquia, por el contrario, se realizará una contratación de las sillas bajo la figura de alquiler con el proveedor, en la cual estará a cargo de mantener disponibles y habilitadas la cantidad de sillas requeridas para su uso, para ello se encargará de prestar el servicio de mantenimiento, reparación y reposición (características de servicio). El servicio de mantenimiento contemplado, consiste en realizar reparaciones mayores tipo correctivas, que implican soldadura de estructura metálica, que se da comúnmente cuando las sillas no se han intervenido con reparaciones menores que eviten las roturas o fracturas en dicha estructura; el servicio de reparación contemplado consiste en cambio de partes modulares como espaldar, asiento o raqueta y ajustes en tornillos, arandelas y remaches; el servicio de reposición consiste en tener disponibles en las aulas la cantidad de sillas alquiladas.

El costo de alquiler de sillas cubre la disponibilidad de las sillas para su uso continuo y la prestación de los servicios que garantizan dicha disponibilidad. Dado que el proveedor está a cargo de la gestión de las sillas, se espera que a los servicios mencionados se les haga un seguimiento continuo y se realicen de manera consistente, dado que el proveedor conserva la propiedad del producto y estará interesado en mantenerlo en uso y extender su ciclo de vida el mayor tiempo posible. Respecto a la duración de la prestación del servicio se propone contrato a 5 años. Las variables del modelo propuesto se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Variables modelo propuesto PSS

| Símbolo | Variable | Clasificación | Descripción | Valor Inicial |
|---|-----------------------------|---------------|--|----------------------|
|  | Sillas en uso alquiladas | Nivel | Sillas dispuestas en aulas para uso de estudiantes | 2373 |
|  | Sillas defectuosas | Flujo | Sillas que después de inventario se declaran no aptas para uso | 0 |
|  | Tasa de defectuosas | Parámetro | Porcentaje de sillas en mal estado y no aptas para uso | (15% - 35%) anual |
|  | Sillas no aptas | Nivel | Sillas no aptas para uso, según su daño esperan para pasar al proceso de reparación, mantenimiento o ser descartadas | 0 |
|  | Sillas para reparación | Flujo | Sillas no aptas a las que se les realiza una reparación menor: cambio de raqueta, asiento, espaldar, ajuste tuercas, tornillos y arandelas. | 0 |
|  | Tasa de reparación | Parámetro | Porcentaje de sillas a las que se puede realizar una reparación menor | (6%-24%) anual |
|  | Sillas reparadas | Flujo | Sillas que fueron reparadas y que vuelven a las aulas para ser usadas | 0 |
|  | Total de reparaciones | Nivel | Total de sillas que fueron reparadas en todo el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Sillas irreparables | Flujo | Sillas no aptas a las que, dado su condición o daño, no se les puede recuperar mediante la reparación menor o mantenimiento y salen del sistema | 0 |

| Símbolo | Variable | Clasificación | Descripción | Valor Inicial |
|---|---|-------------------|---|----------------------|
|  | Total de irreparables | Nivel | Total de sillas que se descartaron y salieron del sistema en todo el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Sillas para mantenimiento | Flujo | Sillas no aptas a las que se les realiza un mantenimiento mayor que implica soldadura de estructura metálica. | 0 |
|  | Tasa de mantenimiento | Parámetro | Porcentaje de sillas a las que se puede realizar un mantenimiento | (1,5% - 5%) Anual |
|  | Total de mantenimientos | Nivel | Total de sillas a las que se realizó mantenimiento en todo el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Sillas en mantenimiento | Flujo | Sillas que después de su mantenimiento vuelven a las aulas para ser usadas | |
|  | Sillas requeridas | Parámetro | Total de sillas que se requieren para dotar las aulas de la Facultad | 2373 |
|  | Sillas en reposición | Flujo | Sillas nuevas que el proveedor tiene que disponer en aulas para satisfacer las sillas requeridas (demanda) | 0 |
|  | Total de adquisiciones modelo PSS | Nivel | Total de sillas nuevas que el proveedor dispuso en el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Costo de reparación, reposición y mantenimiento | Variable Auxiliar | Costo de las reparaciones, mantenimiento y reposiciones, que el proveedor asume mensualmente | 0 |

| Símbolo | Variable | Clasificación | Descripción | Valor Inicial |
|---|-------------------------------------|-------------------|---|---------------|
|  | Precio de alquiler por silla | Variable auxiliar | Precio de alquiler mensual por cada silla, teniendo en cuenta costos implícitos de servicios | 0 |
|  | Precio de alquiler mes | Flujo | Precio de alquiler por el total de las sillas requeridas | 0 |
|  | Pago total alquiler de sillas | Nivel | Costo total del alquiler de sillas en el horizonte temporal de la simulación | 0 |
|  | Costo de compra de sillas iniciales | Parámetro | Costo que asume el proveedor correspondiente a las sillas iniciales que el proveedor dispone para uso | 0 |

El modelo de flujos y niveles correspondiente al modelo propuesto de gestión de mobiliario PSS de las sillas universitarias se desarrolla en el software Powersim Studio 10, y se muestra en la Figura 15. En el se asume que el costo de mantenimiento por silla es de \$4.040 pesos, teniendo en cuenta información de tipo de soldadura, costo de consumibles y costo de equipo de soldadura.

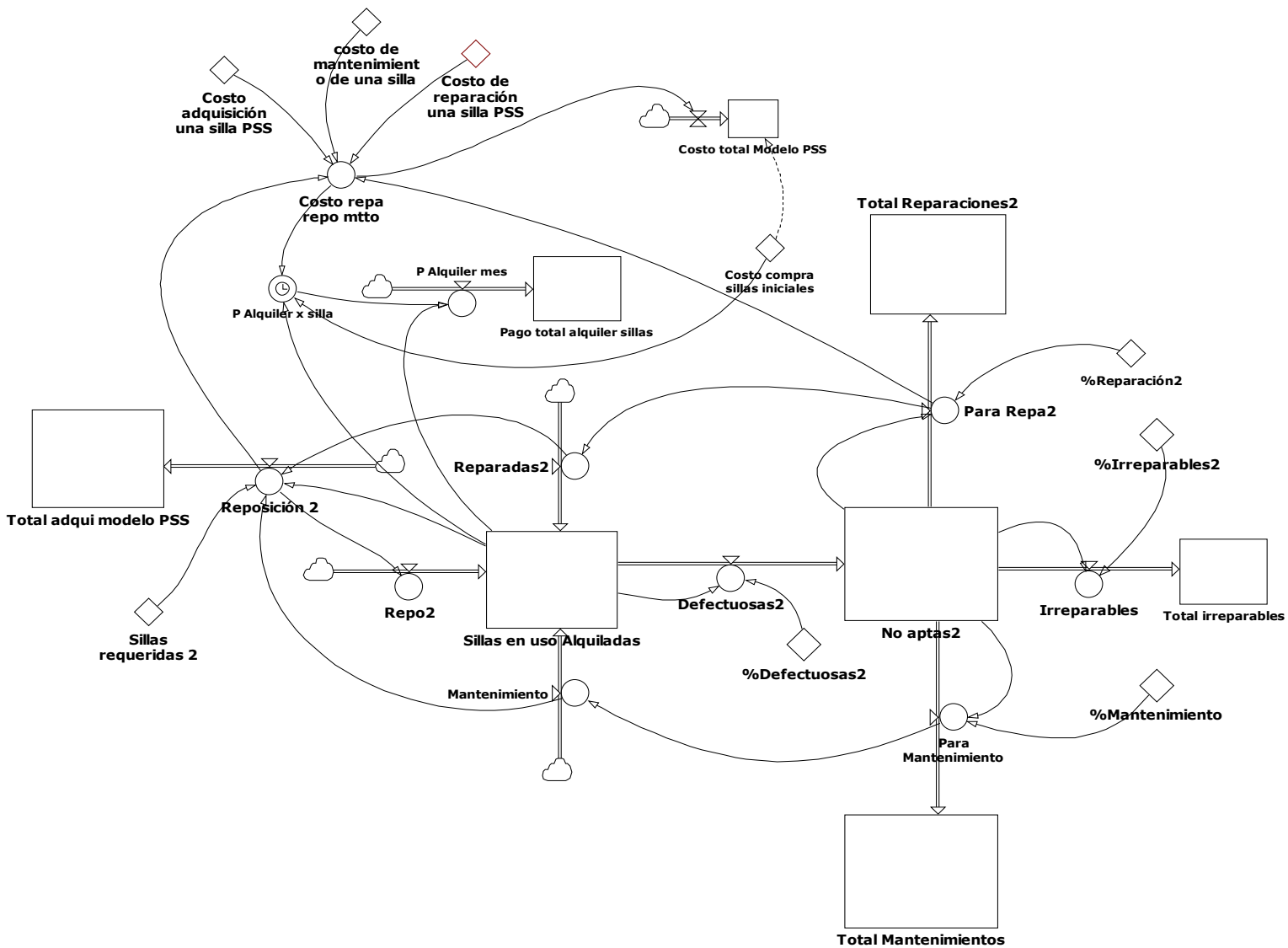


Figura 15 Modelo sistema flujos y niveles del proceso propuesto PSS

El costo total del modelo PSS representa el costo de equilibrio alquilar las sillas a la IES para el proveedor, es decir el costo mínimo al cual debería alquilar las sillas para que sea viable económicamente, teniendo en cuenta la inversión inicial de las sillas y los servicios que debe satisfacer en el horizonte del alquiler.

4.2.4 Políticas

Para establecer las políticas del modelo de simulación con dinámica de sistemas, se establecen tres escenarios: escenario base, escenario de transición y escenario PSS. En cada escenario se realizarán experimentos, a su vez cada experimento consiste en variar los parámetros de “Tasa de defectuosas”, “Tasa de reparación”, “Tasa de mantenimiento”, “Tasa de irreparables” y entender el comportamiento de los modelos respecto a unas variables respuesta. Teniendo en cuenta el objetivo del modelo e hipótesis dinámica, se selecciona como variables de respuesta el “Costo Total Modelo” y “Total Adquisiciones Modelo”, con el fin de evaluar los impactos económicos y de cantidad de uso de recursos, respectivamente. A continuación, se explica en que consiste cada escenario y el rango de posibles valores que en los que se pueden variar los parámetros para la generación de experimentos.

Escenario Base

El escenario base es el *modelo actual* descrito en la sección 4.2.2 con las variables indicadas en la Tabla 11 y la estructura ilustrada en la Figura 14, que están basados en la información validada en la fase de diagnóstico como se explica en la sesión 4.1., de allí se establecen los diferentes valores que podrían tomar los parámetros para los experimentos como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de parámetros para Escenario Base

| Parámetro | Valor mínimo anual | Valor máximo anual |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| Tasa Reparación | 6 % | 12% |
| Tasa Irreparables | 28% | 35% |
| Tasa Defectuosas | 34% | 47% |

Política 1- Escenario de Transición

En el escenario de transición está basado en el “modelo propuesto PSS”, considerando que el proveedor alquila el mobiliario a la Universidad de Antioquia y se hace responsable de seguir desarrollando el servicio de reparación como se venía ejecutando por parte de la universidad, pero adicional a ello implementa un nuevo servicio de mantenimiento, además realiza una revisión del inventario periódicamente y en general dicho actor está interesado en que sus sillas permanezcan en buen estado. Sus variables y estructura se indican en la Tabla 12 y Figura 15 respectivamente.

Uno de los supuestos es el impacto de implementar el servicio de reparación y mantenimiento por parte del proveedor, en dicho supuesto se establece que la tasa de sillas irreparables puede disminuir hasta en un 50% y por ende las sillas defectuosas también lo hacen. Los valores que pueden tomar los parámetros en este escenario de transición se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de parámetros para Escenario de Transición

| Parámetro | Valor mínimo anual | Valor máximo anual |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tasa Reparación | 6 % | 12% |
| Tasa Mantenimiento | 3% | 5% |
| Tasa Irreparables | 14% | 17% |
| Tasa Defectuosas | 23% | 34% |

Política 2 - Escenario de PSS

El escenario modelo PSS al igual que el escenario anterior, está basado en el “modelo propuesto PSS” y tiene en cuenta sus consideraciones, pero adicional a ello se plantea el supuesto en el que el proveedor extiende su capacidad y aumenta la cantidad de reparaciones de sillas teniendo en cuenta que las reparaciones menores evitan que las sillas se sigan deteriorando y que lleguen a un estado que requieran mantenimientos mayores como el que se indica de soldadura de estructura metálica, generando el efecto de disminuir los mantenimientos y la cantidad de sillas irreparables que se tendrían que reponer al sistema. Según información validada con el proveedor y la percepción del área encargada de realizar actualmente las reparaciones (DRAI) con el debido mantenimiento de las sillas se puede lograr extender su vida útil y se podrían disminuir la tasa de sillas irreparables hasta en un 50%. Este escenario es optimista respecto a cumplir los mencionados supuestos y los valores de los parámetros se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 Valores de parámetros para Escenario de PSS

| Parámetro | Valor mínimo anual | Valor máximo anual |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tasa Reparación | 6 % | 24% |
| Tasa Mantenimiento | 1,5% | 2,5% |
| Tasa Irreparables | 7% | 8,5% |
| Tasa Defectuosas | 15% | 35% |

4.2.5 Resultados

Para los escenarios, se generan experimentos con la combinatoria de los valores máximos y mínimos de los parámetros, y otros experimentos donde se pueden comparar el escenario base con los escenarios que corresponden a las políticas propuestas, para comprarlos respecto a las variables respuestas, teniendo en cuenta que lo que se desea es minimizar costos y minimizar el uso. Cada experimento corresponde a una simulación donde se realizan 100 iteraciones, el paso de simulación es mensual, y el horizonte es de cinco años.

Escenario Base

Para el escenario base se generan los experimentos de la Tabla 16, tanto el costo como el número de sillas adquiridas son más bajas cuando la tasa de irreparables es de 28%.

Tabla 16. Experimentos Escenario Base

| Experimento | Tasa de Reparación | Tasa de Irreparables | Tasa de Defectuosas | Costo total modelo actual | Total adquisiciones |
|-------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| 1 | 6% | 28% | 34% | \$ 534.037.336 | 5501 |
| 2 | 6% | 35% | 41% | \$ 608.861.543 | 6288 |
| 3 | 12% | 28% | 40% | \$545.311.988 | 5505 |
| 4 | 12% | 35% | 47% | \$617.815.110 | 6264 |

Política 1- Escenario de Transición

Para el escenario de transición planteado, los experimentos se muestran en la Tabla 17, respecto al comportamiento que se puede observar en estos experimentos, cuando la tasa de irreparables está en su valor mínimo, los costos y la cantidad de sillas adquiridas son menores. Hallando los coeficientes de correlación entre los parámetros y las variables respuestas se obtiene que la tasa

de irreparables es el parámetro de que más se relaciona con las dos variables como se muestra en la

Tabla 18, por ello si se desea implementar esta política, se debe considerar intervenir prioritariamente dicho parámetro.

Tabla 17. Experimentos Política 1- Escenario de Transición

| Experimento | Tasa de Reparación | Tasa de Mantenimiento | Tasa de Irreparables | Tasa de Defectuosas | Costo total modelo PSS | Total adquisiciones |
|-------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 6% | 3% | 14% | 23% | \$ 396.751.208 | 4040 |
| 2 | 6% | 5% | 14% | 25% | \$ 400.674.139 | 4069 |
| 3 | 6% | 3% | 17% | 26% | \$ 433.847.366 | 4427 |
| 4 | 6% | 5% | 17% | 28% | \$ 430.795.517 | 4391 |
| 5 | 12% | 3% | 14% | 29% | \$ 410.112.304 | 4059 |
| 6 | 12% | 5% | 14% | 31% | \$ 412.833.642 | 4072 |
| 7 | 12% | 3% | 17% | 32% | \$ 447.074.170 | 4440 |
| 8 | 12% | 5% | 17% | 34% | \$ 443.108.467 | 4399 |

Tabla 18. Coeficientes de correlación Política 1 - Escenario de Transición

| Parámetro | Correlación Costo Total Modelo PSS | Correlación Total Adquisiciones |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Tasa de reparación | 0.35 | 0.03 |
| Tasa de Mantenimiento | -0.003 | -0.02 |
| Tasa de Irreparables | 0.93 | 0.99 |
| Tasa de defectuosas | 0.70 | 0.44 |

Política 2- Escenario de PSS

Para el escenario de PSS planteado, los experimentos se muestran en la Tabla 19, respecto al comportamiento que se puede observar en estos experimentos, cuando la tasa de irreparables está

en su valor mínimo, la cantidad de sillas adquiridas son menores y los coeficientes de correlación entre los parámetros y las variables respuestas confirman dicha relación, además muestra que el costo tiene una mayor correlación con la tasa de defectuosas, como se muestra en la Tabla 20 .

Tabla 19. Experimentos Política 2- Escenario de PSS

| Experimentos | Tasa Reparación | Tasa Mantenimiento | Tasa Irreparables | Tasa Defectuosas | Costo total modelo PSS | Total adquisiciones |
|--------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 6% | 1,5% | 7,0% | 15% | \$ 317.773.652 | 3216 |
| 2 | 6% | 2,5% | 7,0% | 16% | \$ 319.134.321 | 3222 |
| 3 | 6% | 1,5% | 8,5% | 16% | \$ 332.150.155 | 3368 |
| 4 | 6% | 2,5% | 8,5% | 17% | \$ 334.271.733 | 3386 |
| 5 | 12% | 1,5% | 7,0% | 21% | \$ 330.129.221 | 3222 |
| 6 | 12% | 2,5% | 7,0% | 22% | \$ 332.098.389 | 3238 |
| 7 | 12% | 1,5% | 8,5% | 22% | \$ 345.404.891 | 3388 |
| 8 | 12% | 2,5% | 8,5% | 23% | \$ 347.366.371 | 3402 |
| 9 | 24% | 1,5% | 7,0% | 33% | \$ 355.789.703 | 3251 |
| 10 | 24% | 2,5% | 7,0% | 34% | \$ 357.917.904 | 3262 |
| 11 | 24% | 1,5% | 8,5% | 34% | \$ 371.688.768 | 3419 |
| 12 | 24% | 2,5% | 8,5% | 35% | \$ 372.199.033 | 3416 |

Tabla 20. Coeficientes de correlación Política 2 - Escenario PSS

| Parámetro | Correlación Costo Total Modelo PSS | Correlación Total Adquisiciones |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Tasa de reparación | 0.90 | 0.19 |
| Tasa de Mantenimiento | 0.05 | 0.06 |
| Tasa de Irreparables | 0.42 | 0.98 |
| Tasa de defectuosas | 0.94 | 0.30 |

En la Figura 16 se puede visualizar gráficamente el comportamiento comparativo entre el escenario base (modelo actual) y las políticas constituidas por escenarios construidos bajo las premisas de PSS (modelo propuesto).

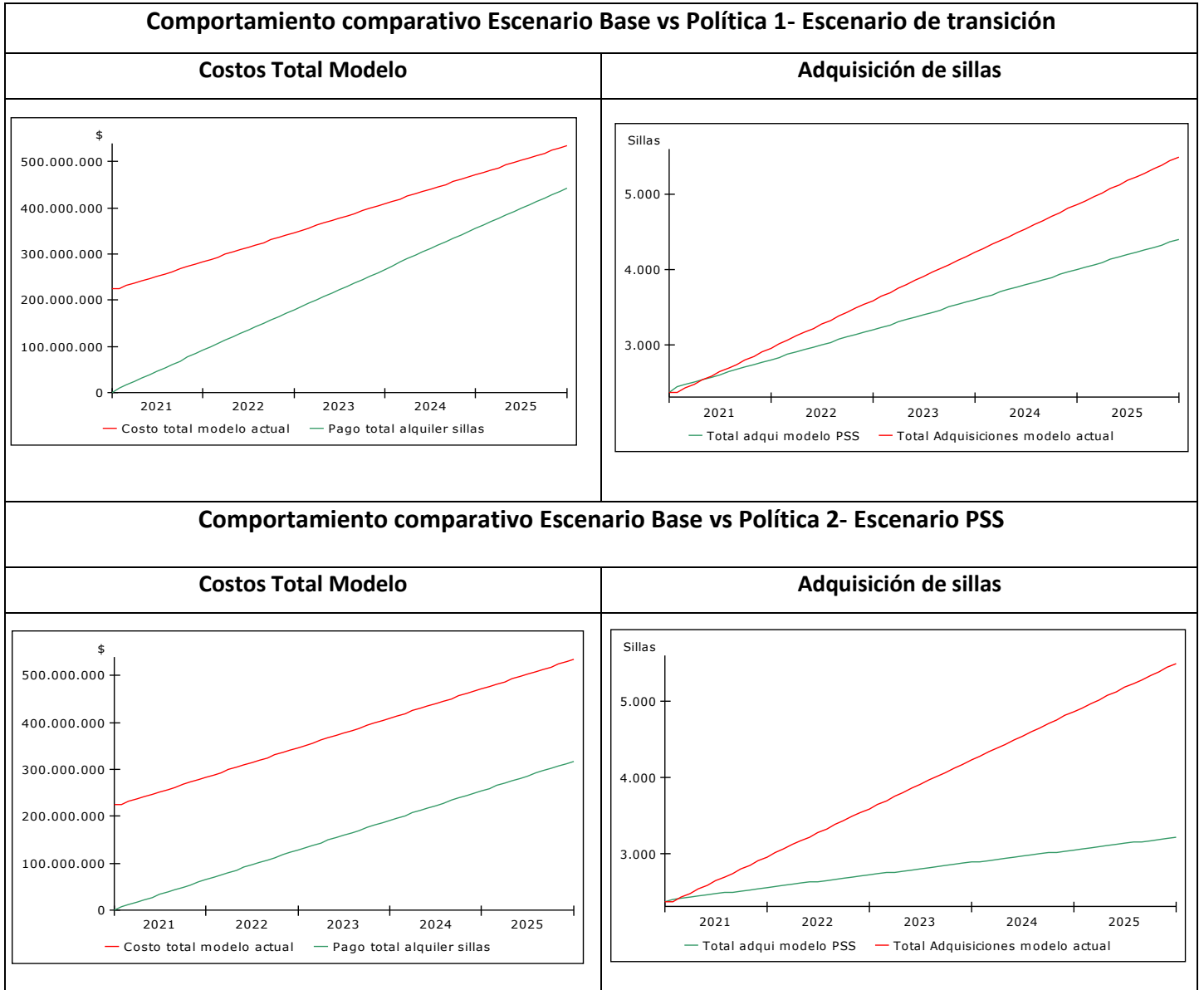


Figura 16. Comportamiento comparativo Escenario Base vs Políticas

De manera congruente a lo esperado, los valores de costo y cantidad de sillas (adquisiciones) promedios de los escenarios son menores para las políticas basadas en escenarios de configuración de la estrategia PSS. Respecto al costo de los modelos resulta ser más económico en el horizonte temporal de la simulación, la implementación del modelo PSS, coherente con el consumo de sillas donde en la gráfica del total adquisiciones muestra que el consumo de sillas es menor con PSS, dado que a mayores reparaciones y la inclusión del proceso de mantenimiento, menor sería la cantidad de sillas que se tienen que reponer. Estos dos resultados son favorables respecto a incentivar la implementación de la propuesta de configuración de la estrategia PSS, mostrando como se puede generar la extensión de vida útil de las sillas con los procesos de mantenimiento y reparación, y en consecuencia menor consumo de recursos y menores costos.

Teniendo en cuenta los resultados de los experimentos, la magnitud de las variaciones de los escenarios se puede observar en la tabla Tabla 21 que la Política 1- Escenario de transición puede lograr una reducción de costos en un 27% y la Política 2- Escenario PSS logra mostrar una reducción promedio en el costo de 44%, congruente con su variación en el consumo de sillas de un 28% y 44% respectivamente.

Tabla 21. Variación costos y adquisiciones entre escenarios

| ESCENARIO | Valor promedio de Experimentos: Total Costos | Variación % costos respecto a Escenario base | Valor promedio de Experimentos: Total Adquisiciones | Variación % adquisiciones respecto a Escenario base |
|-------------------------|---|---|--|--|
| Escenario Base | \$ 576.506.495 | | 5890 | |
| Escenario de Transición | \$ 421.899.602 | 27% ↓ | 4238 | 28% ↓ |
| Escenario PSS | \$ 342.993.679 | 41% ↓ | 3316 | 44% ↓ |

Análisis de variación

Para conocer los valores entre los cuales puede oscilar tanto los costos como la adquisición de sillas, se realiza un análisis de variación, que consiste en variar al mismo tiempo todos los parámetros (Sterman, 2004) y que de manera aleatoria tomen un valor dentro de sus rangos especificados en cada simulación (100 iteraciones), esto con el fin de dar una idea aproximada de lo que sucedería en la implementación real de los escenarios de transición y PSS, en un escenario realista donde todo puede variar, ya que los parámetros pueden tomar cualquier valor entre el rango, diferentes a los extremos usados para los anteriores experimentos. En la Tabla 22 se muestran los resultados para el análisis de variación, de ellos se puede concluir que para la Política 2 se tendrán en promedio menores costos y cantidad de sillas adquiridas, pero también mayor variabilidad posible (amplitud de rango) en sus resultados. Por lo anterior al momento de considerar la implementación en el sistema real de este escenario, se debe tener en cuenta que el presupuesto asignado para esta estrategia no sea tan estable, pero siempre será más económico y beneficioso ambientalmente que el escenario de transición.

Tabla 22. Resultados Análisis de Variación

| Variable Respuesta Costo Total Modelo PSS | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|-----------------|----------------|--|
| Escenario | Valor mínimo | Valor máximo | Promedio | Rango | |
| Política 1- Escenario de transición | \$ 386.559.153 | \$ 455.536.233 | \$ 421.440.338 | \$ 68.977.080 | |
| Política 2- Escenario PSS | \$ 305.588.953 | \$ 406.844.855 | \$ 356.760.608 | \$ 101.255.902 | |
| Variable Respuesta Total Adquisiciones (Sillas) | | | | | |
| Escenario | Valor mínimo | Valor máximo | Promedio | Rango | |
| Política 1- Escenario de transición | 3864 | 4598 | 4238 | 734 | |
| Política 2- Escenario PSS | 3025 | 3955 | 3473 | 930 | |

4.2.6 Validación: Análisis de sensibilidad

La estructura del modelo se valida de manera conceptual con el establecimiento de escenario base que representa el modelo actual, basado en las entrevistas e información de personas que están involucradas y tienen el conocimiento del proceso de abastecimiento y gestión del mobiliario en la IES referente, lo que permite que el modelo sea acorde con el sistema real sistemas (Ford, 1999; Sterman, 2004).

La validación de comportamiento del modelo se realiza mediante el análisis de sensibilidad con simulaciones, donde se evalúan a qué parámetros el modelo es sensible, validando el efecto que tienen los cambios en los parámetros sobre las variables respuesta (Sterman, 2004) y si corresponde a un comportamiento esperado. En este caso, como se mencionó anteriormente, las variables respuesta son el costo total del modelo y el total de sillas adquiridas.

En cada simulación, se varía uno de los parámetros y se dejan fijos los demás con valores referencia tomados del escenario de transición (valores máximos), en la Tabla 23 se muestran los parámetros a validar, los rangos en los cuales pueden variar y los valores referencia. La variación para todos los parámetros se establece de seis puntos porcentuales, con distribución uniforme, para que cada valor del rango tenga la misma probabilidad, ya que en cada iteración se varía el valor del parámetro.

Tabla 23. Variación de parámetros para Análisis de Sensibilidad

| Parámetro | Rango | Valor referencia |
|---------------------------------|-------------------|------------------|
| Parámetro Tasa de Reparaciones | 6% - 12% anual | 12% |
| Parámetro Tasa de Mantenimiento | 1,5% - 6,5% anual | 5% |
| Parámetro Tasa de Irreparables | 7% - 13% anual | 17% |
| Parámetro Tasa de Defectuosos | 20% - 26% anual | 34% |

Variable respuesta "Costo Total Modelo PSS"

El resultado de las simulaciones para la variable respuesta "Costo Total Modelo PSS" variando los parámetros, tasa de reparación, tasa de mantenimiento, tasa de irreparables y tasa de defectuosas se muestran en la Figura 17 donde el eje horizontal corresponde a los 5 años simulados desde el 2021 al 2026, los valores son acumulados y las líneas de colores representan los percentiles. La separación entre las líneas de los percentiles indica que la variable costo total modelo PSS es sensible al parámetro que se esté variando.

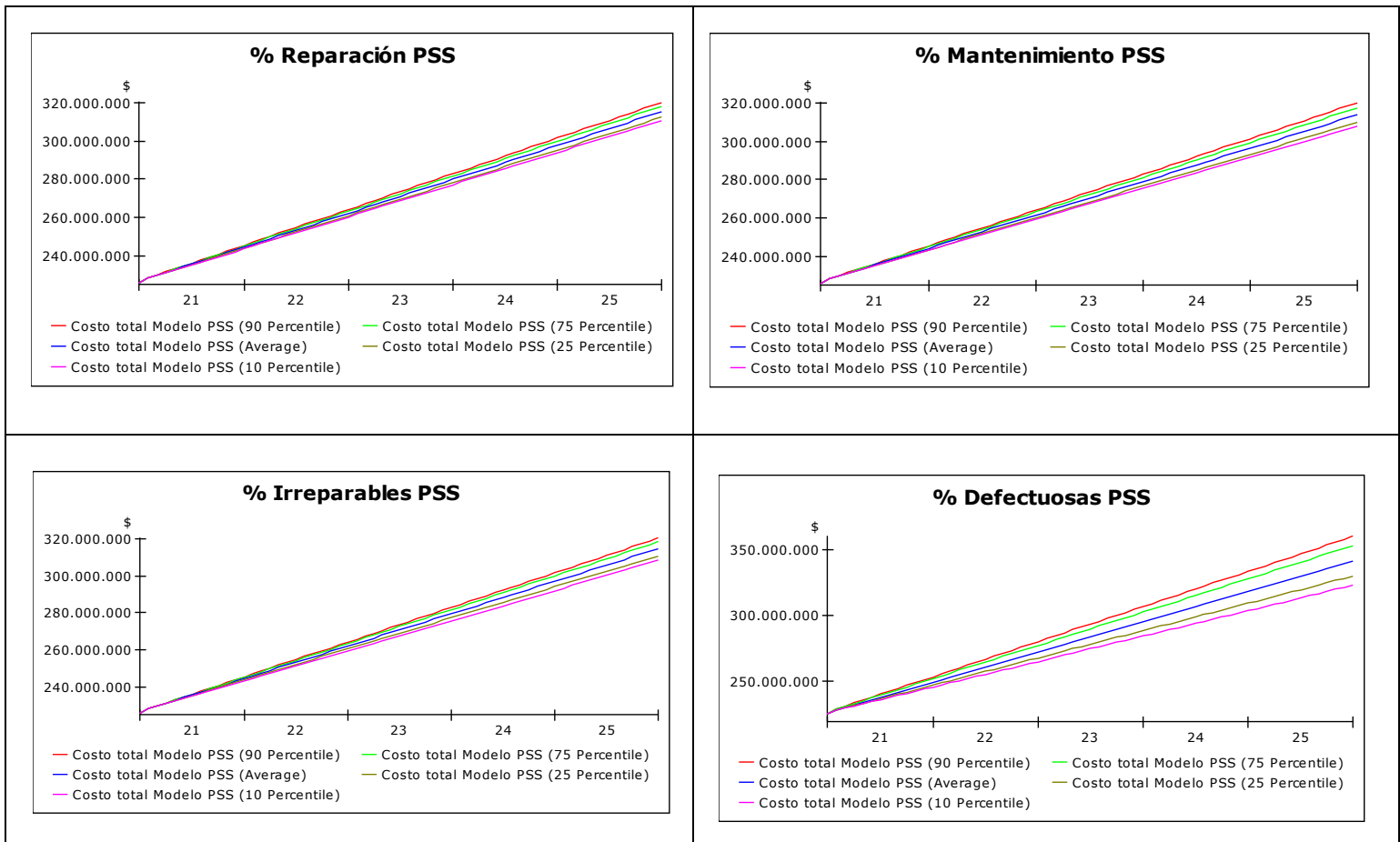


Figura 17. Resultados gráficos de análisis de sensibilidad "Costo Total Modelo PSS"

De este análisis de sensibilidad, gráficamente se concluye que todos los parámetros tienen influencia en la variable de “Costo Total Modelo PSS”. Los parámetros tasa de reparación y tasa de mantenimiento tienen influencia en los costos, lo que es congruente con lo estipulado, respecto a que, a mayor tasa de reparaciones y de mantenimiento, menor es la cantidad de sillas a reponer y eso impacta el costo. Para el parámetro tasa de irreparables se evidencia que tiene influencia en los costos, lo que también es de esperarse pues a mayor porcentaje de sillas irreparables, el proveedor tendrá que realizar mayores reposiciones disponiendo sillas nuevas y esto afecta los costos totales del modelo, al igual que la tasa de defectuosas requieren ser reparadas, servicio de mantenimiento o reposición total si son de naturaleza irreparable, lo que implica un alza en costos si su tasa aumenta. Como se menciona en la siguiente sección, para reducir la cantidad de sillas irreparables se podría establecer campañas de sensibilización y capacitación enfocado en los clientes y usuarios finales del mobiliario, donde se haga énfasis respecto al impacto tanto ambiental como económico que conlleva el uso y consumo inadecuado del mobiliario. Adicional a ello es importante mantener un proceso de mantenimiento enfocado a la prevención de daños mayores en el mobiliario, con la adecuada trazabilidad del inventario del mobiliario.

Para definir la magnitud de la influencia de los parámetros se evalúa la variación en costos que tiene cada simulación, se considera que la variable respuesta es sensible si su variación es mayor a la variación de los parámetros, que en este caso son seis puntos porcentuales. La variación se calcula entre el valor promedio de la simulación (percentil 50) y el valor referencia seleccionado (escenario de transición). También se calcula el indicador de relación entre la variación de variable respuesta y la variación en el parámetro, donde se considera que la variable respuesta es sensible al cambio en el parámetro si el indicador de relación es mayor a uno. Los resultados se muestran en la Tabla 24.

Las variaciones para todos los parámetros son mayores a seis puntos porcentuales, lo que reafirma que la variable costos es sensible a todos los parámetros, el mayor porcentaje de variación en el costo se obtiene con el parámetro “Tasa de Mantenimiento”, seguido de la “tasa de irreparables”,

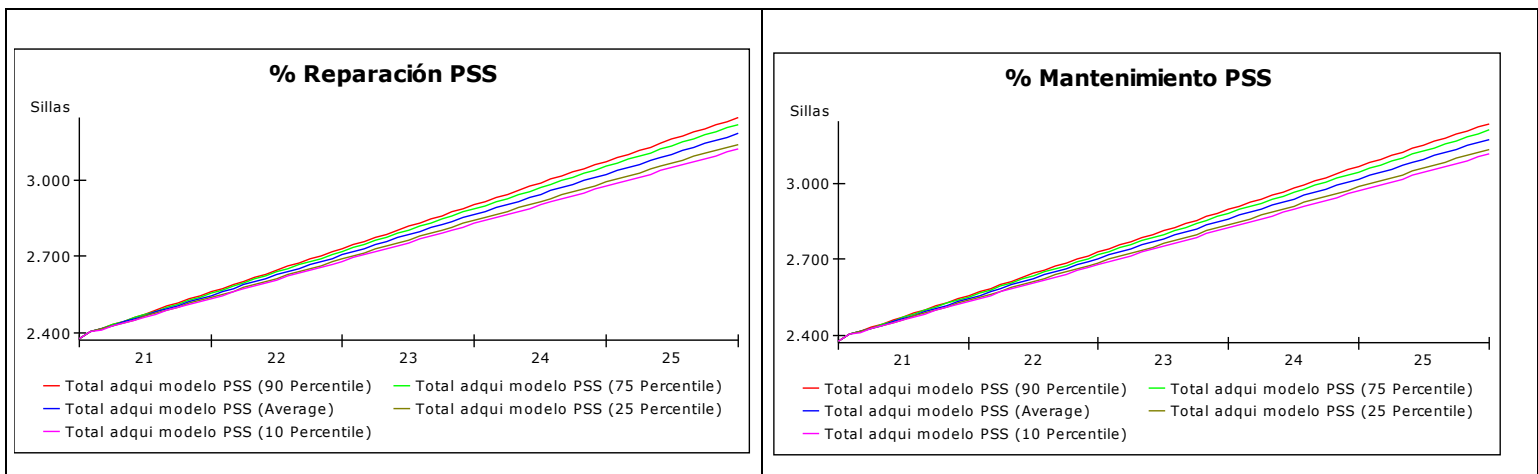
la “tasa de reparación” y finalmente la “tasa de defectuosas”. El indicador de relación indica que, por el cambio de una unidad en la tasa de mantenimiento, se genera un cambio de 4,86 unidades en el costo.

Tabla 24. Resultados análisis de sensibilidad "Costo Total Modelo PSS"

| Parámetro | Promedio | Valor referencia | Variación | Indicador relación Respuesta/ parámetro |
|-----------------------|----------------|-------------------|-----------|--|
| Tasa de reparación | \$ 315.457.507 | \$ 443.108.468,00 | 28.81% | 4.80 |
| Tasa de mantenimiento | \$ 313.897.611 | \$ 443.108.468,00 | 29.16% | 4.86 |
| Tasa de irreparables | \$ 314.694.826 | \$ 443.108.468,00 | 28.98% | 4.83 |
| Tasa de defectuosas | \$ 341.627.804 | \$ 443.108.468,00 | 22.90% | 3.82 |

Variable respuesta “Total Adquisiciones Modelo PSS”

El resultado de las simulaciones para la variable respuesta “Total Adquisiciones Modelo PSS” se muestran en la Figura 18.



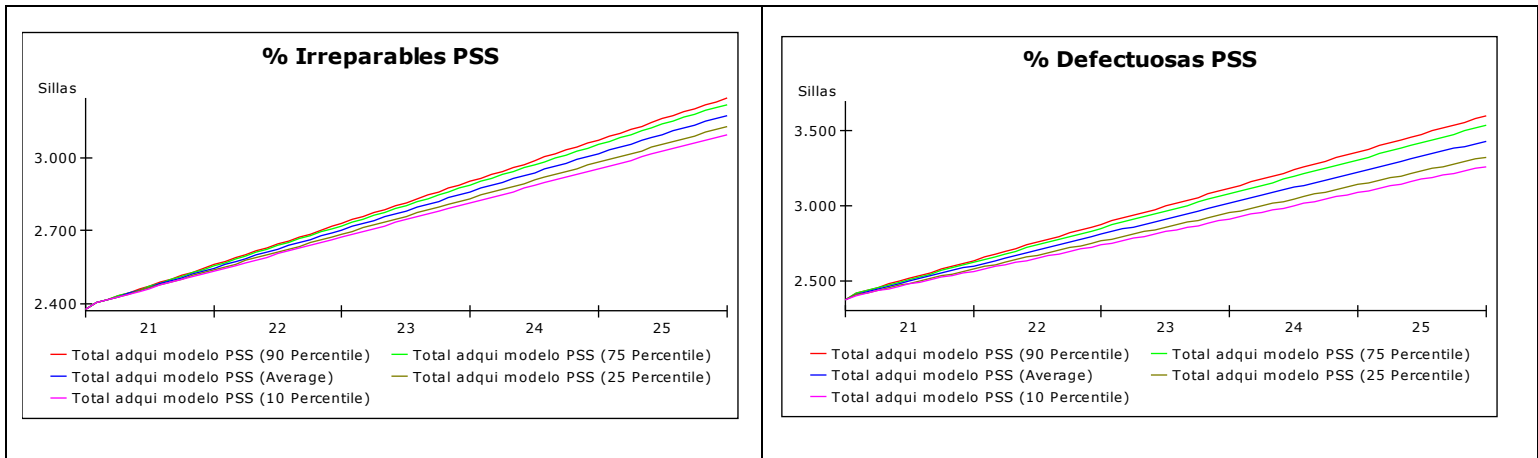


Figura 18. Resultados gráficos de análisis de sensibilidad "Total Adquisiciones Modelo PSS "

Gráficamente se puede interpretar que todos los parámetros tienen influencia frente al total de adquisiciones en el modelo PSS, es decir en la cantidad de sillas que se requieren durante los 5 años para satisfacer la necesidad de la IES, sin embargo, en la Tabla 25 se evidencia que en orden de influencia, el parámetro que más influye en el costo es la "Tasa de mantenimiento", seguido de la "Tasa de irreparables", la "Tasa de reparación" y finalmente la "Tasa de defectuosas".

Tabla 25. Resultados análisis de sensibilidad "Total Adquisiciones Modelo PSS"

| Parámetro | Promedio | Valor referencia | Variación | Indicador relación Respuesta/ parámetro |
|-----------------------|----------|------------------|-----------|---|
| Tasa de reparación | 3185 | 4399 | 27.60% | 4.60 |
| Tasa de mantenimiento | 3177 | 4399 | 27.78% | 4.63 |
| Tasa de irreparables | 3178 | 4399 | 27.76% | 4.63 |
| Tasa de defectuosas | 3434 | 4399 | 21.94% | 3.66 |

5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se describen algunas conclusiones relevantes del desarrollo de este trabajo de investigación, además algunas recomendaciones que pueden guiar la continuidad de dicho trabajo o trabajos futuros referentes al sector mobiliario y estrategias de economía circular.

5.2 Conclusiones

- El PSS es una estrategia prometedora para la gestión de mobiliario de las aulas en IES porque permite implementar criterios aportantes a la sostenibilidad, económicamente y ambientalmente, al proveedor y al cliente, dado un escenario de reducción de costos frente a los modelos transaccionales de compra y reducción de cantidad de mobiliario, gracias al efecto que tienen la implementación de servicios a la extensión de vida útil de los recursos.
- La configuración de la estrategia de PSS requiere de la identificación de criterios claves para su implementación. La adherencia al paradigma actual de comprar o alquilar productos a menor costo se ve reflejada en la importancia otorgada a la característica costo, pues resulta ser la característica de porcentaje con mayor importancia en la estrategia PSS orientada al servicio. Sin embargo, la aparición de otros criterios permitirá validar que la estrategia genera, no solo beneficios económicos, sino que puede llegar a ser ambientalmente sostenible, lo que incentiva un cambio en los patrones de uso y consumo de recursos.
- Se encontró que para la implementación de modelos de abastecimiento de mobiliario respecto las características de producto más importantes son: Costo, Composición material, Ergonomía, modularidad y Tiempo de ciclo de vida. Respecto al servicio las características más importantes son: El tiempo de garantía, Mantenimiento, Reparación, Tiempo de entrega y Requerimientos logísticos. Aunque existen más características a tener

en cuenta, estas representan los de partida para apalancar la implementación de nuevos modelos de abastecimiento en el sector mobiliario.

- De manera particular para el rol de cliente, será de gran importancia en el momento de transición a un nuevo modelo de negocio bajo la orientación de servicio de PSS, tener en cuenta para la selección de sus proveedores de mobiliario, los criterios de: Costo, Duración del servicio, Mantenimiento, Reparación y Reposición. Criterios que se tiene en cuenta para plantear los escenarios de modelo propuesto.
- La Matriz de integración y diseño PSS es un soporte relevante para la implementación de modelos de negocio enfocados en abastecimiento y gestión de mobiliario, como el que se propone en el presente trabajo.
- El desempeño final del sistema, medido en el costo total del modelo y el total de adquisiciones, es sensible a los diferentes parámetros (tasa de reparación, tasa de mantenimiento, tasa de irreparables y tasa de defectuosos) sin embargo, la incidencia de la tasa de mantenimiento es mayor, dicha tasa genera que los costos varíen en mayor magnitud, por ello se debe tener en cuenta que para influenciar dichas variables respuesta se puede intervenir de manera prioritaria dicho parámetro.
- Mediante los escenarios propuestos y sus experimentaciones se puede concluir que tanto el escenario de transición como el escenario PSS (basados en el modelo propuesto de PSS), logran evidenciar potenciales reducciones en los costos del modelo y en la adquisición de sillas, impactando positivamente el aspecto económico y ambiental con la reducción de recursos usados para satisfacer el sistema.
- Una de las barreras recurrentes identificadas para la implementación de la estrategia PSS basada en EC, es el desconocimiento o falta de reconocimiento frente a la importancia de

incluir criterios sostenibles a los modelos de negocio, dada la cultura existente en los procesos de adquisición en el cual el factor costo es el más importante, por ello es importante capacitar y sensibilizar a los clientes (compra pública) frente a la sostenibilidad y forma consciente de consumo y uso de recursos, para incentivar que entre sus procesos de contratación incluyan dichos criterios y se generen adquisiciones circulares.

- Se evidencia en medio del desarrollo de este trabajo de investigación varias formas que pueden potencializar el impacto positivo tanto económico como ambiental de implementar la propuesta de configuración de estrategia PSS, entre ellas se resalta que el servicio de mantenimiento puede abordar no solo mantenimientos correctivos por eventos de daño, sino mantenimiento preventivo programado periódicamente, ayudará a reducir las tasas de sillas defectuosas e irreparables. Por otra parte, el proveedor puede establecer un proceso que implique mayor trazabilidad y control al inventario de sillas para un efectivo proceso de mantenimiento, además evitar pérdidas y reposiciones, y generar visibilidad de las sillas para su recolección final, para acceder a la recuperación de las mismas y reutilizar partes o utilizar materiales reciclados en sus procesos productivos, esto mediante identificaciones únicas de sillas o geoposicionador con uso de tecnología IoT.

5.3 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones pueden aportar a incentivar y motivar la implementación de nuevos modelos de negocio basado en EC, como el propuesto en este trabajo de investigación.

- Se pueden ampliar los límites de simulación, incluyendo la modelación del proceso de disposición final de las sillas, para entender el efecto económico y ambiental que conlleva que al final de la vida útil las sillas sigan siendo propiedad del proveedor, en donde como alternativa y siguiendo los criterios propuestos en la configuración de la estrategia PSS, como la modularidad, oportunidad de reciclaje o composición material, que ayuden a

simular el posible aprovechamiento que del proveedor al fin de la vida útil, con material reciclado para incluirlo nuevamente en sus procesos productivos o donde se puede recuperar partes.

- La migración a un nuevo modelo de negocio como el de adquisición y gestión de mobiliario basado en PSS, puede generar ventajas y flexibilidad en la administración de inventarios frente a eventos como pandemia, pues las compras tradicionales suelen hacerse por lotes grandes de mobiliario, y posibles entregas parciales que realiza el proveedor en fechas acordadas con el cliente y en pandemia no sería posible hacerse cargo de la recepción y almacenamiento de dicho inventario, lo que no sucede cuando la propiedad del mobiliario está en manos del proveedor. Por ello puede ser conveniente estudiar las ventajas respecto a la gestión de inventario, tanto en el rol de cliente como el rol de proveedor.
- Se recomienda para las IES y proveedores, generar los escenarios de capacitación y sensibilización frente a la sostenibilidad, sus impactos económicos y ambientales, dirigido a los usuarios finales del mobiliario (estudiantes), para generar un uso y consumo responsable de recursos, evitando deterioros tempranos y extendiendo la vida útil de los mismos.
- Como recomendación particular a las IES o empresas que adquieren grandes volúmenes de mobiliario, se considera que su gestión de mobiliario puede verse impactado positivamente si se implementan las compras agregadas por institución (sistema general de compra universitario) y no por dependencias aisladas, para evitar rotación por uniformidad del mobiliario, facilitar la relocalización de sillas y balanceo de inventario y mobiliario general entre dependencias (facultades) de la misma institución.
- Se ha identificado a los proveedores como un grupo de interés y actor fundamental en la aplicación de la estrategia PSS. Por ello existe una gran oportunidad de involucrarlos desde la sensibilización, capacitación y conocimiento específico de EC y como pueden hacer parte de la transición a la misma, teniendo en cuenta los posibles beneficios económicos y

ambientales que pueden lograr con dicha aplicación. Por ello, aunque se valida con un proveedor la disposición respecto a la transición, se requiere evaluar y validar con un grupo más incluyente de proveedores locales o nacionales, para entender la percepción y viabilidad de este nuevo modelo de abastecimiento.

- Respecto a la implementación de tecnologías importancia de considerar los costos y la viabilidad de mantener estos sistemas, para lograr la trazabilidad que se sugiere y mejorar la gestión y administración del mobiliario.

Bibliografía

- Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Evans, S., Neely, A., Greenough, R., Peppard, J., Roy, R., Shehab, E., Braganza, A., Tiwari, A., Alcock, J. R., Angus, J. P., Basti, M., Cousens, A., Irving, P., Johnson, M., Kingston, J., Lockett, H., Martinez, V., ... Wilson, H. (2007). State-of-the-art in product-service systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(10), 1543–1552. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM858>
- Banaitė, D., & Tamošiūnienė, R. (2016). JOURNAL OF SECURITY AND SUSTAINABILITY ISSUES ISSN 2029-7017 print / ISSN 2029-7025 online 2016 September Volume 6 Number 1 ECONOMIC SUSTAINABILITY AS A FUTURE PHENOMENON : MOVING TOWARDS A SUSTAINABLE HOTEL INDUSTRY. *JOURNAL OF SECURITY AND SUSTAINABILITY ISSUES*, 6(2029–7017), 315–323.
- Besch, K. (2005). Product-service systems for office furniture: Barriers and opportunities on the European market. *Journal of Cleaner Production*, 13(10–11), 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.12.003>
- BMW GROUP. (2014). *Sustainable value report 2014*. https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/responsibility/downloads/en/2014/BMW_Group_SVR2014_EN.pdf
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Bosch, T., Grösser, S. N., Rhijn, G. Van, & Verploegen, K. (2017). Sustainable Furniture that Grows with End-Users. *Dynamics of Long-Life Assets: From Technology Adaptation to Upgrading the Business Model*, 1–356. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45438-2>
- Braulio-Gonzalo, M., & Bovea, M. D. (2020). Criteria analysis of green public procurement in the Spanish furniture sector. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120704>

- da Silva, C. L. (2018). *Proposal of a dynamic model to evaluate...plied to the municipality of Curitiba.pdf*.
- De Angelis, R., Howard, M., & Miemczyk, J. (2018). Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. *Production Planning and Control*, 29(6), 425–437. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449244>
- DNP. (2016). Documento CONPES 3874. Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos. *Consejo Nacional de Política Económica y Social República De Colombia. Departamento Nacional De Planeación (DNP)*, 1–73. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015a). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. *Ellen MacArthur Foundation (EMF)*, 20. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf
- Ellen MacArthur Foundation. (2015b). Why the circular economy matters. *Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers*, 19–32.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *What Is The Circular Economy?* <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). Complete the picture: How the circular economy tackles climate change. *Ellen MacArthur Foundation, September*, 1–62. www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
- Ellen McArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, & SUN. (2015). Growth within: a circular economy vision for a competitive europe. In *Ellen MacArthur Foundation*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf

-
- Escobar Pérez, J., & Cuervo Martínez, Á. (2008). VALIDEZ DE CONTENIDO Y JUICIO DE EXPERTOS: UNA APROXIMACIÓN A SU UTILIZACIÓN. *Polymer*, 19(2), 231–233.
[https://doi.org/10.1016/0032-3861\(78\)90049-6](https://doi.org/10.1016/0032-3861(78)90049-6)
- European Commission. (2015). *Circular Economy Package : Questions & Answers*.
- European Furniture Industries Confederation. (2015). *The Furniture Industry and the circular economy*. <https://drive.google.com/file/d/1LWBzH-4omVkJXAHVx6qdNYtI69-SrUS/view>
- Ford, A. (1999). *Modeling the Environment. An Introduction to System Dynamics Models of Enviromental Systems* (I. PRESS (ed.)).
- Forrest, A., Hilton, M., Ballinger, A., & Whittaker, D. (2017). Circular Economy Opportunities in the Furniture Sector. In *European Environmental Bureau (EEB)*.
<file:///C:/Users/giuli/Desktop/Circular-Economy-in-the-Furniture-Sector.pdf>
- Gómez Montoya, R. A., Correa Espinal, A. A., & Vásquez Herrera, L. S. (2017). Logística Inversa, Un Enfoque Con Responsabilidad Social Empresarial. *Criterio Libre*, 10(16), 143.
<https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.16.1167>
- Holgado, M., Morgan, D., & Evans, S. (2016). Exploring the scope of industrial symbiosis: Implications for practitioners. In *Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 52).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_15
- Hu, H. A., Chen, S. H., Hsu, C. W., Wang, C., & Wu, C. L. (2012). Development of sustainability evaluation model for implementing product service systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(2), 343–354. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0037-7>
- Ilgin, M. A. (2019). A DEMATEL-Based Disassembly Line Balancing Heuristic. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 141(2).
<https://doi.org/10.1115/1.4041925>
- Kasulaitis, B. V., Babbitt, C. W., & Krock, A. K. (2019). Dematerialization and the Circular Economy: Comparing Strategies to Reduce Material Impacts of the Consumer Electronic Product

- Ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 119–132. <https://doi.org/10.1111/jiec.12756>
- Khan, M. A., Mittal, S., West, S., & Wuest, T. (2018). Review on upgradability – A product lifetime extension strategy in the context of product service systems. *Journal of Cleaner Production*, 204, 1154–1168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.329>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy : The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143(January), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kravchenko, M., Pigosso, D. C., & McAloone, T. C. (2019). Towards the ex-ante sustainability screening of circular economy initiatives in manufacturing companies: Consolidation of leading sustainability-related performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118318>
- Kristensen, H., & Remmen, A. (2019). A framework for sustainable value propositions in product-service systems. *Journal of Cleaner Production*, 223, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.074>
- Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2015). The Product as a Service Business Model: Performance over Ownership. In *Waste to Wealth*. https://doi.org/10.1057/9781137530707_8
- Lifset, R., Atasu, A., & Tojo, N. (2013). Extended Producer Responsibility: National, International, and Practical Perspectives Lifset et al. *EPR: National, International, and Practical Perspectives*. *Journal of Industrial Ecology*, 17(2), 162–166. <https://doi.org/10.1111/jiec.12022>
- Lindhqvist, T. (2000). *Extended producer responsibility in cleaner production: Policy principle to promote environmental improvements of product systems* (Vol. 2000, Issue 2). Lund University.

Mayers, K., Lifset, R., Bodenhofer, K., & Van Wassenhove, L. N. (2013). Implementing Individual Producer Responsibility for Waste Electrical and Electronic Equipment through Improved Financing. *Journal of Industrial Ecology*, 17(2), 186–198. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00528.x>

ley 1672, Compilado en el Título 7A “Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos” del Dec. 1076 de 2015 “Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” 13 (2013).
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Boletín gestión de residuos posconsumo*. 2005(0002), 1/5.
http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_y_consumo_sostenible/programas_posconsumo_2017/Boletin_posconsumo_2017/Gestión_de_residuos_Posconsumo__cifras_que_evidencian.pdf

Mourtzis, D., Fotia, S., & Doukas, M. (2015). Performance Indicators for the Evaluation of Product-Service Systems Design: A Review. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 460, 592–601. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7>

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>

Namsawat, O., & Rugwongwan, Y. (2020). An evaluation of corporate customer need with regard to the use of product service systems for the furniture business through environmental marketing. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(2), 422–428.
<https://doi.org/10.1016/j.kjss.2018.07.014>

National Zero Waste Council. (2019). *National Zero Waste Council - Case Studies*.
<http://www.nzwc.ca/focus/circular-economy/case-studies/casestudies/frogbox.pdf>

Öhgren, M., Milios, L., Dalhammar, C., & Lindahl, M. (2019). Public procurement of reconditioned furniture and the potential transition to product service systems solutions. *Procedia CIRP*,

- 83, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.134>
- Oppen, C. van, Croon, G., & Vroe, D. B. D. E. (2018). *Circular Procurement in 8 Steps*.
- País Circular. (2019, November 29). *Remuebla: la empresa que remanufactura muebles de oficina a partir de materia prima reutilizada - País Circular*. <https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/remuebla-la-empresa-que-remanufactura-muebles-de-oficina-a-partir-de-materia-prima-reutilizada/>
- Peterson, M. (2004). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. *Journal of Macromarketing*. <https://doi.org/10.1177/0276146704264148>
- CIRCULAR ECONOMY SNAPSHOT: Philips light as a service, (2015). <http://www.nzwc.ca/focus/circular-economy/case-studies/casestudies/philipslight.pdf>
- Pieroni, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2019). Configuring new business models for circular economy: from patterns and design options to action. *4th International Conference on New Business Models. Manuscript In Press*.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca García, C., & Ormazabal Goenaga, M. (2016). Circular Economy : An economic and industrial model to achieve the sustainability of society. In *Proceedings of the 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference. Rethinking Sustainability Models and Practices: Challenges for the New and Old World Contexts*.
- Prieto Sandoval, V., Jaca García, M., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*.
- Qu, M., Yu, S., Chen, D., Chu, J., & Tian, B. (2016). State-of-the-art of design, evaluation, and operation methodologies in product service systems. *Computers in Industry, 77*(127), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.12.004>
- Rahmandad, H., & Sterman, J. D. (2012). Reporting guidelines for simulation-based research in

-
- social sciences. *System Dynamics Review*, 28(4), 396–411. <https://doi.org/10.1002/sdr.1481>
- RAND Corporation. (2020). *Delphi Method | RAND*. Delphi Method. <https://www.rand.org/topics/delphi-method.html>
- Resolución 1297. (2010). *Resolución 1297 de 2010. Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Diario Oficial 47769 Julio 13 de 2010). 08 Jul, 2010.
- Resolución 1326. (2017). *Resolución 1326 de 2017. Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Diario Oficial No 50287, julio 7 de 2017) 06 Jul, 2017.
- Resolución 1407. (2018). *Resolución 1407 de 2018. Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 Jul, 2018 Núm. 50673.
- Resolución 1457. (2010). *Resolución 1457 de 2010. Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Julio 29 de 2010) 29 Jul, 2010.
- Resolución 1511. (2010). *Resolución 1511 de 2010. Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Agosto 5 de 2010) 05 Ago, 2010.
- Resolución 1512. (2010). *Resolución 1512 de 2010. Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Agosto 5 de 2010) 05 Ago, 2010.

- Resolución 1675. (2013). *Resolución 1675 de 2013. Por la cual se establecen los elementos que deben contener los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Plaguicidas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Diario Oficial No 49022, enero 3 de 2014) 02 Dic, 2013.
- Resolución 371. (2009). *Resolución 371 de 2009. Por la cual se establecen los elementos que deben ser considerados en los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Fármacos o Medicamentos Vencidos*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 26 Feb, 2009.
- Resolución 372. (2009). *Resolución 372 de 2009. Por la cual se establecen los elementos que deben contener los Planes de Gestión de Devolución de Productos Posconsumo de Baterías Usadas Plomo Acido, y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Diario Oficial 47282, Marzo 5 de 2009) 05 Mar, 2009.
- Decreto 284, 1 (2018). [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 284 DEL 15 FEBRERO DE 2018.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20284%20DEL%2015%20FEBRERO%20DE%202018.pdf)
- Sterman, J. D. (2004). Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. In *Interfaces* (Vol. 34, Issue 1). <http://www.lavoisier.fr/notice/frJWOAR6SA23WLOO.html>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, & Departamento Nacional de Planeación. (2018). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos – 2017. In *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2._disposicion_final_de_residuos_solidos_-_informe_2017.pdf
- Superservicios. (2018). Informe nacional sobre el pesaje y registro de las cantidades de residuos efectivamente aprovechados de los prestadores de la actividad de aprovechamiento - 2018. In *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*.
- Tasaki, T., Tojo, N., & Lindhqvist, T. (2019). Differences in Perception of Extended Producer Responsibility and Product Stewardship among Stakeholders: An International

-
- Questionnaire Survey and Statistical Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 438–451.
<https://doi.org/10.1111/jiec.12815>
- The British Standard Institution. (2017). *BS 8001:2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations - guide*, British Standards Institution - Publication Index | NBS.
<https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=317511>
- Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? Experiences from suspronet. *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246–260.
<https://doi.org/10.1002/bse.414>
- Tukker, A., & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1552–1556.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.022>
- World Business Council for Sustainable Development. (2018). *Circular Economy Practitioner Guide*. <https://www.ceguide.org/>
- Wrap. (2011). Benefits of Reuse Case Study : Office Furniture. Final Report. *Final Report*, November, 41. http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Clothing_reuse_final.pdf
- Yajure, C. (2015). Comparison of multicriteria methods AHP and Fuzzy AHP in selecting the best technology for the production of electricity from coal. *Scientia et Technica Año XX*, 20(3), 255–260.
- Yang, M., Smart, P., Kumar, M., Jolly, M., & Evans, S. (2018). Product-service systems business models for circular supply chains. *Production Planning and Control*, 29(6), 498–508.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449247>
- Youngjin, P., Mujin, K., & Janghyeok, Y. (2016). Generating new product-service system concepts using general needs and business system evolution patterns: A furniture PSS case. *Industrial Engineering and Management Systems*, 15(2), 181–195.
<https://doi.org/10.7232/iems.2016.15.2.181>

