



Autor: Emiliano López Eslava. Título: Abstracciones.

Creando más con menos, la innovación frugal como nuevo paradigma de diseño para la sostenibilidad

*Creating more with less, frugal innovation as
a new design paradigm for sustainability*

Luis Miguel López Santiago¹

Víctor Darío Cuervo Pinto²

Resumen

Actualmente, la humanidad se enfrenta a una serie de desafíos y crisis. En contextos donde los recursos naturales son cada vez más escasos y los problemas sociales y ambientales se han intensificado, la innovación frugal se posiciona como un enfoque pertinente para abordar estas problemáticas. La innovación frugal, cuyos orígenes se encuentran en la India, ha despertado el interés en la comunidad académica a nivel internacional. La reciente literatura referente a este enfoque ha demostrado que emprendedores, académicos y activistas en los países en vías de desarrollo están obteniendo contribuciones significativas al desarrollo de soluciones ingeniosas y

¹ Université de Technologie de Troyes UTT, Unité de Recherche InSyTE, Troyes, France
luis_miguel.lopez_santiago@utt.fr ORCID ID del autor 1: **0009-0004-8684-8789**

² Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas UPIITA, Instituto Politécnico Nacional IPN, Ciudad de México, México vdcuervo@ipn.mx
ORCID ID del autor 2: **0000-0002-8574-8733**

Fecha de recepción: agosto 2023

Fecha de aceptación: noviembre 2023

Versión final: diciembre 2023

Fecha de publicación: enero 2024

asequibles, enfocadas en mejorar la calidad de vida y fomentar prácticas de diseño para una transición hacia la sostenibilidad. La investigación ha permitido identificar una serie de criterios y atributos para innovar de manera frugal. Estos atributos están centrados en la funcionalidad, la reducción de costos y la optimización. Sin embargo, la literatura también ha hecho énfasis en la necesidad de estudiar e incluir otros casos y contextos geográficos como el latinoamericano para consolidar el conocimiento sobre este enfoque. En este artículo hacemos un análisis exploratorio de seis casos considerados como innovaciones frugales en el territorio nacional. Se ha construido un cuadro de análisis a partir de la literatura para identificar los criterios y estrategias pertinentes para innovar de manera frugal. Este estudio ofrece una perspectiva de la implementación de la innovación frugal para enriquecer los enfoques tradicionales de diseño e innovación, particularmente desde la ingeniería. La naturaleza exploratoria de casos se limita al contexto mexicano y al área de la ingeniería. Sin embargo, los resultados ofrecen hallazgos valiosos para futuras investigaciones desde otras disciplinas como la administración y el marketing. Los resultados pueden servir de apoyo a proyectos académicos, de emprendimiento y de activismo que apunten a innovar de manera frugal.

Palabras clave: innovación frugal, diseño, ingeniería, sostenibilidad, recursos naturales.

Abstract

Humanity is currently facing a series of challenges and crises. In contexts where resources are increasingly scarce and social and environmental problems have intensified, frugal innovation is positioned as a relevant approach to address these issues. Frugal innovation, whose origins lie in India, has sparked interest in the academic community internationally. The growing literature on this approach has shown that entrepreneurs, academics, and activists in developing countries are making interesting contributions to developing ingenious and affordable solutions focused on improving the quality of life and promoting design practices for a transition to sustainability. Scientific research has identified a series of cri-

teria and attributes for frugal innovation. These attributes are focused on functionality, cost reduction, and optimization. However, the literature has also emphasized the need to study and include other cases and geographical contexts, such as Latin America, to consolidate knowledge of this approach. In this article, we make an exploratory analysis of six cases considered as frugal innovations in Mexico. A table of analysis has been constructed from the literature to identify the criteria and relevant strategies to innovate frugally. This study offers a perspective on implementing frugal innovation to enrich traditional approaches to design and innovation, particularly from engineering. The exploratory nature of the cases is limited to the Mexican context and the engineering area. However, the results offer valuable findings for future research from other disciplines, such as management and marketing. The results can support academic, entrepreneurship, and activism projects that aim to innovate frugally.

Keywords: *frugal innovation, design, engineering, sustainability, natural resources*

Introducción

La humanidad se enfrenta a una serie de desafíos y crisis producto del actual modelo de producción y consumo. Un reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2023) hace ver la urgencia de tomar acciones que puedan asegurar un futuro habitable para todos. Recientemente, hemos sido testigos de los cambios generalizados y rápidos en los sistemas ecológicos de la Tierra (atmósfera, océano y biosfera). De igual manera, los fenómenos meteorológicos y climáticos han presentado cambios extremos. Esto ha conducido a una generación de impactos adversos, daños y pérdidas en la biodiversidad. Tampoco podemos dejar de lado la afectación desproporcionada a las comunidades vulnerables, quienes, irónicamente, son las que han contribuido minoritariamente a la degradación ambiental actual. Todas estas situaciones conducirán cada vez más a un aumento en demanda y escasez de recursos, alimentos, agua, territorios, fuentes de energía, etc. (Evans, 2010).

Todas las problemáticas actuales producto del sobrepaso de los límites planetarios exigen una transición como sociedad (Geels, 2011). Esto hace necesario cuestionar nuestros sistemas de producción, nuestros estilos de vida y modos de consumo. Una revisión de las estrategias actuales nos permitiría plantear nuevos enfoques a diferentes niveles en los que se ven implicados todo tipo de actores, políticos, empresarios, consumidores, diseñadores, ingenieros, investigadores y la sociedad civil (Geels, 2011, 2019). Uno de los ejes principales radica en los cambios que deberían darse en la implementación y uso de tecnologías, es decir, cuestionar y replantear la manera en cómo estas se desarrollan, sus funciones y significado social y su relación con el ambiente (Markard, Raven, & Truffer, 2012).

En este artículo introducimos el concepto de innovación frugal, el cual se presenta como un nuevo enfoque de innovación que cuestiona las necesidades esenciales con el fin de crear soluciones ingeniosas, de bajo consumo de recursos, que respeten el medioambiente y que a su vez mejoren la calidad de vida de las personas y comunidades en necesidad. Para ilustrar este enfoque, presentamos el análisis exploratorio de seis casos considerados como innovaciones frugales en el territorio nacional. El objetivo es ofrecer una perspectiva de la implementación de la innovación frugal con vías a enriquecer los enfoques tradicionales de diseño e innovación, particularmente desde la ingeniería y apoyando en el desarrollo de soluciones sostenibles.

El diseño para la sostenibilidad y la innovación frugal

Desde una perspectiva interdisciplinaria, particularmente desde el diseño, diversos enfoques han explorado la manera en cómo abordar la sostenibilidad. Una de las contribuciones de mayor pertinencia teórica en la literatura científica en las ciencias del diseño ha sido la revisión de los enfoques para la sostenibilidad. Ceschin y Gaziulusoy (2019) realizan un mapeo y proponen un cuadro que explora la evolución del campo del diseño para la sostenibilidad. Los autores muestran cómo se ha extendido progresivamente desde un enfoque puramente técnico y centrado en el producto hacia cambios a gran escala a nivel sistémico, en los cuales alcanzar la sostenibilidad es un desafío socio-técnico-ambiental. En este aspecto toma

sentido hablar sobre el concepto de sostenibilidad fuerte, que, a diferencia de la sostenibilidad débil, argumenta que el capital natural no puede ser sustituido, ya que es imposible de identificar todos los riesgos ligados a la pérdida de los servicios eco-sistémicos (biodiversidad, ciclos ecológicos, etc.) (Ehrlich & Mooney, 1983; Wu, 2013). Sobre este aspecto, se puede argumentar que las estrategias, métodos y herramientas que solamente toman criterios ambientales aislados, sin cuestionar el consumo, las necesidades e impacto social y los límites planetarios, resultan insuficientes para una transición hacia una sostenibilidad fuerte (Boutaud & Gondran, 2020; Steffen *et al.*, 2015).

Buscar la sostenibilidad mediante enfoques de innovación puramente tecnológica ha permitido mejorar la calidad de vida de las personas, pero estas mejoras se ven contrarrestadas si se toma en cuenta que el 43 % de la población mundial sigue en pobreza (World Bank, 2018). Comunidades dentro de los países pobres y en vías de desarrollo, incluso antes del COVID-19, se han visto confrontadas a crisis relacionadas con el medioambiente, la justicia y la equidad social. En estas comunidades conocidas como la Base de la Pirámide (Prahalad & Hart, 2002), los recursos han sido comúnmente escasos, y los problemas sociales y ambientales se han intensificado. Sin embargo, hay una creciente literatura que ha mostrado que, en estos contextos, emprendedores, académicos y activistas están haciendo contribuciones interesantes al desarrollo de soluciones ingeniosas y asequibles enfocadas en mejorar la calidad de vida y promover prácticas de diseño para una transición hacia la sostenibilidad (London & Hart, 2011; Rosca, Arnold, & Bendul, 2017; Rosca, Reedy, & Bendul, 2018).

Este fenómeno, conocido en la literatura como innovación frugal, se ha posicionado como un enfoque pertinente para abordar las problemáticas de la Base de la Pirámide, ya que en escenarios de crisis sociales y ambientales han aportado soluciones interesantes y pertinentes (Pansera & Sarkar, 2016). Los orígenes de la innovación frugal se encuentran en la India y de manera creciente se ha despertado el interés en la comunidad académica a nivel internacional. La innovación frugal puede entenderse como “un medio y un fin para hacer más y mejor con menos por un gran número de personas” (Yasser A Bhatti *et al.*, 2017; Prabhu, 2017; Radjou & Prabhu, 2015). Una de las definiciones más difundidas de la innovación frugal se presenta como:

Una solución de recursos escasos (es decir, producto, servicio, proceso o modelo de negocio) que se diseña e implementa a pesar de las limitaciones financieras, tecnológicas, materiales o de otros recursos, por lo que el resultado es significativamente más barato que las ofertas de la competencia (si están disponibles) y es suficientemente bueno para satisfacer las necesidades básicas de los clientes que de otro modo permanecerían desatendidos” (Hossain, Simula, & Halme, 2016, p. 133)

La investigación sobre este enfoque de innovación ha permitido identificar una serie de criterios y atributos. Estos están centrados principalmente en la funcionalidad, la reducción de costos, la optimización y la aceptación de la solución (López, Rohmer, Díaz, & Reyes, 2019a, 2019b; Weyrauch & Hertsatt, 2017). Aunque la literatura se ha concentrado en el estudio de casos de innovación frugal en el continente asiático, particularmente en la India, los investigadores han hecho énfasis en la necesidad de estudiar e incluir otros casos y contextos geográficos como el latinoamericano para consolidar el conocimiento sobre este enfoque (Hossain, 2017; Molina-Maturano, Bucher, & Speelman, 2020).

Bajo estas consideraciones, pensamos que Latinoamérica, particularmente México, representa un semillero potencial de innovaciones frugales que promuevan la sostenibilidad y a su vez, nos permitan mejorar y enriquecer los paradigmas, tradicionales de diseño y creación de proyectos. Para abordar esto, la investigación se guía por la pregunta siguiente: ¿Cuáles son las prácticas y estrategias de innovación frugal pertinentes que ofrece el contexto mexicano?

En el siguiente apartado se describe la metodología de investigación empleada para posteriormente presentar los hallazgos, así como implicaciones, las limitaciones y las perspectivas de esta investigación.

Método de investigación

En este artículo se hace un análisis exploratorio de seis casos considerados como innovaciones frugales (tres casos académicos, uno de emprendimiento y dos de carácter social) en el territorio nacional. Estos casos se han seleccionado por su pertinencia teórica y el detalle que pueden ofrecer sobre el fenómeno a investigar tal como lo recomienda Eisenhardt (1989). Se han escogido los criterios de innovación frugal más utilizados en literatura para el análisis de los casos. La estrategia de análisis estuvo basada en el análisis temático y de contenido de las entrevistas realizadas y los documentos obtenidos de los casos (Gioia, Corley, & Hamilton, 2013). También se hizo un análisis retrospectivo de los procesos de diseño, particularmente de los casos académicos (Langley, 1999). La metodología es análoga a otras que ya han sido implementadas para analizar ejemplos de innovación frugal, tanto en economías emergentes como desarrolladas (López Santiago, 2023; Molina-Maturano et al., 2020; Rosca *et al.*, 2017).

Resultados

En esta sección se presentan los resultados principales de la investigación. Se comienza por una descripción breve de los casos analizados y su posición con respecto a la filosofía y definición de innovación frugal.

Descripción de los casos analizados

Los tres primeros casos corresponden a ejemplos de innovación frugal desarrollados en el territorio nacional en contextos no académicos. Uno de ellos es un proyecto de emprendimiento basado en el desarrollo de tecnologías apropiadas, el segundo corresponde a un emprendimiento de carácter social y el tercero a una asociación civil sin fines de lucro. Estos casos fueron seleccionados por su impacto y pertinencia de resolver necesidades sociales y de carácter ambiental en el país. En la Tabla 1 presentamos una descripción de los casos seleccionados, su relación con el enfoque frugal y el objetivo de desarrollo sostenible que abordan.

Tabla 1. Casos previos existentes en el territorio

Bicimáquinas	Isla Urbana	Caminos de Agua
<p>Proyecto situado en Guadalajara, Jalisco, México, enfocado al fomento de procesos creativos, a la creación de ecotecnias, tecnologías apropiadas y energías alternativas a partir de bicicletas. Esto incluye lavadoras, licuadoras, generadores eléctricos, revolvedoras, molinos, bombas de agua, etc.</p>  <p><i>Figura 1. Bicimolino. Foto: autores con la autorización de Bicimáquinas</i></p>	<p>Propuesta orientada a resolver el problema de la falta de agua en la ciudad de México y en otras zonas del país, particularmente donde hay carencias. Isla Urbana considera a la lluvia como un recurso primordial por sus ciclos y disponibilidad natural. Por lo tanto, la instalación de sistemas de cosecha y purificación de agua de lluvia es una solución.</p>  <p><i>Figura 2. Sistema de cosecha de agua de lluvia. Foto: cortesía de Isla Urbana</i></p>	<p>Iniciativa en el estado de Guanajuato, México, enfocada al acceso al agua potable en comunidades desfavorecidas. Su filtro cerámico y sus sistemas de tratamiento de aguas subterráneas han permitido proporcionar agua segura y asequible en esta y otras regiones del país.</p>  <p><i>Figura 3. Sistema filtro cerámico. Foto: autores con la autorización de Caminos de Agua.</i></p>
Enfoque frugal de los proyectos		
<p>Proyecto motivado por las problemáticas ambientales del consumo energético y la inclusión social. Utilización y adaptación de tecnologías simples, asequibles y ambientalmente sostenibles. Fomento del ingenio, de la creatividad y de la adopción de estilos de vida más solidarios con el planeta.</p>	<p>Respeto por el medioambiente, mejora de la vida de comunidades marginadas. Promoción de prácticas sostenibles en el uso del agua. Integración de conocimientos científicos y de oficios para la solución de problemas. Tecnologías asequibles y respetuosas del contexto sociocultural (Tlaloques). Creación de redes de colaboración y compartición del conocimiento.</p>	<p>Motivación por la justicia social y el cuidado ambiental. Fomento de tecnologías apropiadas, asequibles, fáciles de utilizar y de implementar. Respeto por las prácticas y valores socioculturales. Utilización de recursos locales-territoriales. Creación de redes de colaboración con actores que compartan los mismos valores. Enfoque “Open source” (manuales, documentos, artículos).</p>
<p>Contribuye al objetivo de desarrollo sostenible No. 7, energía asequible y no contaminante y No. 10, reducción de las desigualdades</p>	<p>Contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible No. 6, agua limpia y saneamiento y No. 11, ciudades y comunidades sostenibles.</p>	<p>Contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible No. 6, agua limpia y saneamiento y No. 10 reducción de las desigualdades.</p>

Los tres casos académicos corresponden a proyectos de fin de estudios desarrollados en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas UPIITA del Instituto Politécnico Nacional. Estos trabajos tienen como objetivo permitir a los estudiantes graduarse de la carrera de ingeniería en Mecatrónica, aplicando los conocimientos para el desarrollo de un sistema que resuelva un problema de ingeniería. Dado el rol importante que desempeña el diseño en la ingeniería para la transición sostenible, se invitó a los alumnos a identificar problemáticas sociales y ambientales reales que puedan ser abordadas desde la Mecatrónica, incluyendo para ello el enfoque de innovación frugal. En la Tabla 2 se presentan los proyectos académicos desarrollados exitosamente dentro de la UPIITA, su relación con la innovación frugal y el objetivo de desarrollo sostenible abordado. Cabe mencionar que estos proyectos académicos han sido presentados en conferencias internacionales de diseño y sostenibilidad.

Tabla 2. Casos académicos seleccionados

<p>Máquina desespinnadora de tunas y xoconostles (Hernández De Lucio, Estrada Maya, García Arroyo, & González Yances, 2018)</p>	<p>Sistema fotovoltaico a partir de tejas cerámicas (Pineda Pérez, 2019)</p>	<p>Sistema reverse-vending para reciclaje de embalajes y distribución de alimentos (Pérez Montes, Zoza Tejeda, & Ramírez López, 2019)</p>
<p>Sistema mecatrónico desarrollado en 2019 como solución tecnológica de apoyo a productores agrícolas para mejorar las condiciones de trabajo y aumentar la productividad de un proceso altamente manual. El sistema permite acelerar la limpieza y clasificar las frutas para su comercialización.</p>  <p>Figura 4. Máquina desespinnadora. Foto: autores y cortesía de Dalia Guadalupe Hernández De Lucio, Eduardo Adrián Estrada Maya, Jorge García Arroyo y Neftalí Jonatán González Yances</p>	<p>Sistema mecatrónico desarrollado en 2019 enfocado a proporcionar suministro eléctrico a las comunidades rurales mediante tejas cerámicas fotovoltaicas. Las tejas, fabricadas mediante métodos tradicionales, funcionan como elementos estructurales de construcción tanto en zonas rurales como urbanas.</p>  <p>Figura 5. Sistema fotovoltaico de tejas. Foto: autores y cortesía de Carlos Pineda Pérez.</p>	<p>Solución tecnológica para la colecta de embalajes reciclables y distribución de alimentos de primera necesidad a personas necesitadas (comúnmente gente que se dedica a la colecta de residuos). El sistema busca fomentar la práctica de reciclaje mediante el intercambio de alimentos por una cantidad determinada de embalaje.</p>  <p>Figura 6. Sistema reverse-vending. Foto: autores y cortesía de Leonel Pérez Montes, Nicole Denisse Zoza Tejeda y Jesús Alberto Ramírez López</p>

Enfoque frugal de los proyectos		
El proyecto nace de una motivación social de una comunidad agrícola. El dispositivo integra los conocimientos científicos de la ingeniería mecatrónica y la experiencia empírica de los agricultores. Hay una optimización de las funciones principales del prototipo. Se espera que pueda ser aplicado a otros contextos parecidos.	Proyecto motivado por fines sociales y de transición energética renovable. Integración de tecnologías avanzadas de la mecatrónica con conocimientos tradicionales de la construcción con arcilla. Creación de redes de colaboración entre diferentes actores. Funciones optimizadas. Visión de Emprendimiento social.	Proyecto iniciado por motivaciones sociales sobre la pobreza alimentaria y el impacto ambiental de residuos reciclables. Integración de tecnologías adecuadas con respecto a las funciones principales. Interfaz amigable e intuitiva. Optimización de funciones. Visión de emprendimiento y creación de redes colaborativas.
Contribuye al objetivo de desarrollo sostenible No. 8 trabajo decente y crecimiento económico.	Contribuye al objetivo de desarrollo sostenible No. 7 energía asequible y no contaminante.	Contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible No. 2, hambre cero y No. 12, producción y consumo responsables.

Las estrategias y criterios de la innovación frugal en México

El análisis de los casos seleccionados en el contexto mexicano presentados en las tablas anteriores, permitió generar una estructura de datos que identifica tres principales dimensiones de la innovación frugal en el contexto nacional (Figura 7). Estas tres dimensiones pueden interpretarse como una relación entre los diseñadores o innovadores (individuos que realizan la propuesta de solución), la solución técnica (producto o servicio desarrollado) y las estrategias (relaciones con otros actores).

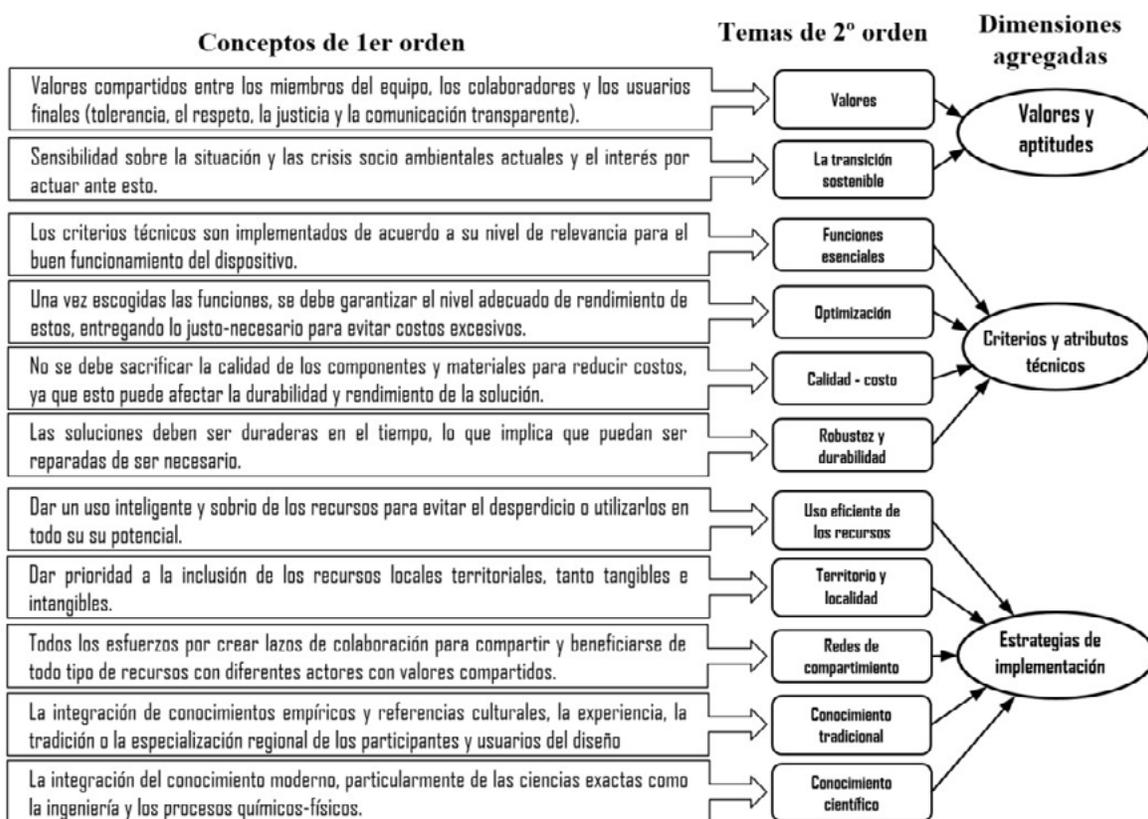


Figura 7. Elementos de la innovación frugal en el contexto mexicano (autores). La estructura de los datos analizados se presenta como lo sugiere Gioia et al. (2013).

Concerniente a la primera dimensión de la innovación frugal, la cual está centrada en los diseñadores que han implementado el enfoque, se encontró que hay una serie de motivaciones y valores constantes. La motivación principal proviene de una sensibilización hacia la crisis actual y la necesidad de tomar acciones para resolver las problemáticas socioambientales. Los diseñadores se han apropiado de estas problemáticas y buscan dar una propuesta de solución que pueda tener un impacto positivo en los usuarios de la solución, así como en la reducción de impactos ambientales o la preservación de los sistemas ecológicos. Los innovadores también comparten una serie de valores relacionados al respecto, la justicia y la equidad, la empatía por las problemáticas sociales y también la comunicación abierta con todos los involucrados en la problemática.

La segunda dimensión está centrada en los aspectos técnicos de la solución frugal, es decir, los criterios y atributos de diseño. La bibliografía hace un énfasis importante en la definición de lo que serán consideradas funciones esenciales y su optimización adecuada. En los casos seleccionados, particularmente los académicos, se hizo un énfasis a los estudiantes de prestar atención especial a estos criterios y justificar mediante métodos y cálculos de ingeniería que esto fue tomado en cuenta. Los casos no académicos explicaron que en sus procesos buscan optimizar las funciones de sus soluciones, esto ayuda también de manera indirecta a reducir todo tipo de costos consecuentes. Uno de los criterios más relevantes fue la calidad, la cual está directamente relacionada con la durabilidad de la solución. En todos los casos presentados se identificó que, en las etapas tempranas del desarrollo de una solución, el prototipado, la improvisación y las técnicas de prueba y error son pertinentes antes de llegar a una solución definitiva. Si bien en estas etapas no hay estándares de calidad definidos y los materiales pueden ser muy rudimentarios, la solución final debe presentar niveles adecuados de calidad. Es importante mencionar que todos estos criterios y atributos son muy dependientes, por lo que se requiere considerar su implementación simultánea durante la toma de decisiones. Investigaciones previas ya han mencionado también este aspecto de simultaneidad (Rossetto, Borini, Bernardes, & Frankwick, 2023).

La tercera dimensión de la innovación frugal concierne a las estrategias puntuales para lograr un impacto significativo. Consideramos que esta dimensión tiene un papel importante para diferenciar este enfoque de innovación de otros. En los casos seleccionados se ha identificado que los recursos disponibles son la base esencial para el desarrollo de soluciones. En todos los casos, los proyectos no contaban con todos los recursos (materiales, financieros, humanos, etc.) en sus inicios, por consiguiente, el uso sobrio e inteligente de aquellos sí disponibles fue clave para sus operaciones. Con el fin de reducir impactos ambientales y generar valor sostenible, los innovadores dan prioridad a la integración de los recursos disponibles localmente de forma territorial. Esto ayuda a dinamizar el campo de acción físico e identificar posibles socios o actores, a saber, microempresas, emprendedores, asociaciones, ciudadanos, universidades, etc.; todos ellos, interesados en compartir recursos, trabajar en conjunto y difundir el proyecto. Otro elemento importante es la sinergia entre conocimiento científico y conocimiento tradicional. Los innovadores expresaron que algunas solu-

ciones ingeniosas provienen de la experiencia de los mismos usuarios, de la especialización de los oficios y también de las prácticas culturales. Si bien las ciencias exactas pueden ser útiles en la comprensión de un fenómeno, el conocimiento empírico puede ayudar a crear soluciones o funciones más intuitivas en los usuarios.

Estas tres dimensiones reflejan la manera en como se ha implementado la innovación frugal dentro del contexto mexicano. Estos hallazgos vienen a confirmar algunos elementos que ya han sido explorados en la literatura sobre este enfoque de innovación, pero también a aportar una visión directa del terreno.

Implicaciones y limitaciones

Este estudio tiene una naturaleza exploratoria, por consiguiente, presenta algunas limitaciones. En cuanto a la metodología, se ha utilizado el enfoque cualitativo de estudio de casos, que tiene ciertas limitaciones en general. En este artículo se han considerado dos terrenos principales, el académico y el de las organizaciones activas. Los sectores en los que están enfocados estos ejemplos de innovación son diferentes (tanto en su estructura organizacional, sus recursos y su etapa de madurez), por lo que no puede generalizarse aún la totalidad de los hallazgos, particularmente aquellos criterios centrados en la parte específicamente técnica de la solución. La investigación solo se limita a identificar exploratoriamente las estrategias y criterios de innovación frugal encontradas en los casos seleccionados y exclusivos del territorio mexicano (Figura 7). Si bien la literatura sugiere que las iniciativas locales de los países en vías de desarrollo podrán convertirse en enfoques y estrategias impulsoras de la innovación en el corto plazo (Brem & Wolfram, 2014; Kaplinsky, 2011; London & Hart, 2011; Pansera, 2013), aún es necesario identificar otros casos existentes y promover el desarrollo de proyectos que integren el enfoque de innovación frugal o si hay otro concepto análogo que lo describa mejor en México (como por ejemplo las “ecotecnias” (Consejo Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas CDI, 2016)). Esto permitirá presentar paradigmas innovadores que puedan dar una alternativa a los enfoques de innovación tradicionales en occidente.

En cuanto a las implicaciones, se considera que las estrategias y criterios presentados pueden servir de apoyo como un conjunto de tácticas a implementar para desarrollar proyectos de innovación frugal, tanto académicos como de emprendimiento. De igual manera, los casos académicos pueden motivar a otros estudiantes a proponer soluciones ingeniosas a los problemas y los desafíos socioambientales actuales. Las estrategias podrían también valorar la importancia de la colaboración interdisciplinaria en el ámbito universitario (ingeniería, marketing, administración, etc.) y la inclusión de actores que compartan los mismos objetivos y valores.

Conclusiones y perspectivas

La transición hacia la sostenibilidad requiere de la adopción de nuevos paradigmas. En este artículo se introduce a la innovación frugal como un enfoque potencial de implementación. El contexto mexicano se presenta como un terreno potencial de investigación y de proposiciones de innovaciones frugales para la sostenibilidad.

Las perspectivas de investigación pueden centrarse en buscar otros casos que puedan generalizar los hallazgos presentados y también en la proposición de proyectos estudiantiles de alto impacto sostenible. De igual manera, trabajos futuros pueden centrarse en la creación de métodos y herramientas para implementar de manera clara y concisa los criterios y estrategias de innovación frugal. La difusión de este enfoque de innovación permitiría enriquecer los contenidos académicos en diferentes disciplinas que aborden problemáticas sociales y ambientales.

Por otro lado, la innovación frugal podría servir como herramienta de sensibilización a otros actores en el sector industrial y político a los desafíos actuales.

Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo gracias al apoyo de la Unidad de Investigación InSyTE de la Université de Technologie de Troyes UTT y del Instituto Politécnico Nacional, México. Agradecemos a todos los entrevistados de los proyectos Bicimáquinas, Isla Urbana y Caminos de Agua por su disposición

a compartir su historia y experiencia. Un agradecimiento especial a todos los estudiantes de ingeniería Mecatrónica y los profesores asesores de la UPLITA quienes trabajaron en los proyectos mencionados en este artículo.

Referencias

- Bhatti, Yasser A, Prime, M., Harris, M., Wadge, H., McQueen, J., Patel, H., ... Darzi, A. (2017). The search for the holy grail: frugal innovation in healthcare from low-income or middle-income countries for reverse innovation to developed countries. *BMJ Innovations*, 3(4), 212 LP – 220. <https://doi.org/10.1136/bmjinnov-2016-000186>
- Boutaud, A., & Gondran, N. (2020). *Les limites planétaires*. Repères. Paris: La Découverte. Retrieved from <https://www.cairn.info/les-limites-planetaires--9782348046230.htm>
- Brem, A., & Wolfram, P. (2014). Research and development from the bottom up - introduction of terminologies for new product development in emerging markets. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1186/2192-5372-3-9>
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2019). *Design for Sustainability A Multi-level Framework from Products to Socio-technical Systems*. Philosophy, Technology, and the Environment (1st ed.). New York: Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429456510>
- Consejo Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas CDI. (2016). *Ecotecnias: guía práctica para comunidades indígenas*. <https://www.gob.mx/inpi/articulos/ecotecnias-guia-practica-para-comunidades-indigenas>
- Ehrlich, P. R., & Mooney, H. A. (1983). Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. *BioScience*, 33(4), 248–254. <https://doi.org/10.2307/1309037>
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/258557>
- Evans, A. (2010). Resource Scarcity, Climate Change and the Risk of Violent Conflict. *World Development Report*. Retrieved from [https://web.worldbank.org/archive/website01306/web/climate change.html](https://web.worldbank.org/archive/website01306/web/climate%20change.html)
- Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>
- Geels, F. W. (2019). Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the Multi-Level Perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.009>
- Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking Qualitative Rigor in Inductive Research: Notes on the Gioia Methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1), 15–31. <https://doi.org/10.1177/1094428112452151>

- Hernández De Lucio, D. G., Estrada Maya, E. A., García Arroyo, J., & González Yances, N. J. (2018). Desespinaadora y Clasificadora de Tunas o Xoconostle. Instituto Politécnico Nacional IPN.
- Hossain, M. (2017). Mapping the frugal innovation phenomenon. *Technology in Society*, 51(November), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.09.006>
- Hossain, M., Simula, H., & Halme, M. (2016). Can frugal go global? Diffusion patterns of frugal innovations. *Technology in Society*, 46, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.04.005>
- IPCC. (2023). AR6 Synthesis Report, Summary for Policymakers, Climate Change 2023. INTERLAKEN, Switzerland. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kaplinsky, R. (2011). Schumacher meets schumpeter: Appropriate technology below the radar. *Research Policy*, 40(2), 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.10.003>
- Langley, A. (1999). Strategies for theorizing from process data. *Academy of Management Review*, 24(4), 691–710. <https://doi.org/10.5465/AMR.1999.2553248>
- London, T., & Hart, S. L. (2011). *Next Generation Business Strategies for the Base of the Pyramid*. New Jersey: Pearson Education, Inc. <https://doi.org/10.1090/noti1270>
- López Santiago, L. M. (2023). Innovating with limited resources: exploring the development process of a frugal water innovation. In *Colloque InterUT Systèmes sûrs et durables*. Université de Technologie de Compiègne [UTC], Feb 2023, Paris, France: HAL CCSD. Retrieved from <https://hal.science/hal-04015656>
- López Santiago, L. M., Rohmer, S., Díaz Pichardo, R., & Reyes, T. (2019a). Exploratory Study of the Integration of Frugal Innovation in the Design of Products for the BoP. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 3311–3320. <https://doi.org/DOI: 10.1017/dsi.2019.338>
- López Santiago, L. M., Rohmer, S., Díaz Pichardo, R., & Reyes, T. (2019b). L'innovation frugale comme levier de la conception pour la BoP. Étude exploratoire pour identifier des critères de conception. In *16ème colloque national S-mart. L'industrie du futur, une révolution pour l'humain?* (pp. 1–6). Les Karellis, France. Retrieved from <https://s-mart2019.event.univ-lorraine.fr/file/513631>
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>
- Molina-Maturano, J., Bucher, J., & Speelman, S. (2020). Understanding and evaluating the sustainability of frugal water innovations in México: An exploratory case study. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122692>
- Pansera, M. (2013). Frugality, grassroots and inclusiveness: New challenges for mainstream innovation theories. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 5(6), 469–478. <https://doi.org/10.1080/20421338.2013.820445>
- Pansera, M., & Sarkar, S. (2016). Crafting Sustainable Development Solutions: Frugal Innovations of Grassroots Entrepreneurs. *Sustainability*, 8(51), 3312–3317. <https://doi.org/10.3390/su8010051>

- Pérez Montes, L., Zoza Tejeda, N. D., & Ramírez López, J. A. (2019). Máquina dispensadora de alimentos a cambio de envases reciclables diseñada a partir de innovación frugal. Instituto Politécnico Nacional IPN.
- Pineda Pérez, C. A. (2019). Sistema fotovoltaico a partir de tejas cerámicas para viviendas rurales mexicanas. Instituto Politécnico Nacional IPN.
- Prabhu, J. (2017). Frugal innovation: Doing more with less for more. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2095). <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0372>
- Prahalad, C. K., & Hart, S. L. (2002). The Fortune at the Bottom of the Pyramid. *Strategy+business*, (26).
- Radjou, N., & Prabhu, J. (2015). Frugal Innovation, How to do more with less. Great Britain: The Economist Newspaper Ltd.
- Rosca, E., Arnold, M., & Bendul, J. C. (2017). Business models for sustainable innovation – an empirical analysis of frugal products and services. *Journal of Cleaner Production*, 162, S133–S145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.050>
- Rosca, E., Reedy, J., & Bendul, J. C. (2018). Does Frugal Innovation Enable Sustainable Development? A Systematic Literature Review. *European Journal of Development Research*, 30(1), 136–157. <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0106-3>
- Rossetto, D. E., Borini, F. M., Bernardes, R. C., & Frankwick, G. L. (2023). Measuring frugal innovation capabilities: An initial scale proposition. *Technovation*, 121(November 2022), 102674. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102674>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Weyrauch, T., & Herstatt, C. (2017). What is frugal innovation? Three defining criteria. *Journal of Frugal Innovation*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40669-016-0005-y>
- World Bank. (2018). Nearly Half the World Lives on Less than \$5.50 a Day. Retrieved January 7, 2020, from <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/10/17/nearly-half-the-world-lives-on-less-than-550-a-day>
- Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999–1023. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>



Atribución-NoComercial-SinDerivadas
Permite a otros solo descargar la obra y compartirla con otros siempre y cuando se otorgue el crédito del autor correspondiente y de la publicación; no se permite cambiarlo de forma alguna ni usarlo comercialmente.