

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS
RESIDENCIALES

Evaluación de alternativas de aprovechamiento biotecnológico en contextos residenciales
mediante revisión bibliográfica

Natalia Estefanía Duarte Camacho y Julián Andrés Esparza Jaimes

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería Química

Director

Luis Enrique Lambis Benítez

Ingeniero Químico, Magister en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Ingeniería Química

Bucaramanga

2024

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Dedicatoria

Dedico este trabajo primero a Dios, por ser mi guía, por darme la fortaleza y sabiduría para alcanzar esta meta con satisfacción.

A mis padres Bilba Camacho y Jorge Duarte, por su esfuerzo, compañía, apoyo incondicional, dedicación, consejos y ser el ejemplo de la perseverancia, estando a mi lado en los momentos de alegría y en los de dificultad y ser mi fuente constante de motivación y cariño.

A mis hermanos Sara Valeria y Jorge Andrés mi polo a tierra, quienes fueron un pilar clave de apoyo a lo largo de esta etapa con su amor incondicional. Sus palabras de aliento, compañía y confianza en mí me dieron la fuerza para seguir adelante en las dificultades.

A mi tía Rubiela Camacho, por ser un apoyo constante y una fuente de sabiduría. Su fe en mis capacidades y su disposición a ayudarme en cada paso de este proceso han sido invaluable. Su presencia ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos, quienes con su sincera amistad y apoyo hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable. Gracia por estar a mi lado, celebrando los éxitos y levantándome en los momentos de duda.

A mis profesores, por compartir conmigo su conocimiento, su tiempo y dedicación. Por inspirarme a ir más allá de lo evidente, por sus consejos y por la paciencia en formación.

A todas las personas que de una u otra manera, me brindaron su apoyo y palabras de aliento. Cada gesto de amabilidad y confianza ha dejado una huella imborrable en mi vida.

Natalia Duarte

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

A mi familia, faro que guía cada paso y nunca se apaga. Ustedes son mi refugio, mi alegría y el impulso para soñar. Siempre serán el motor de todo lo que hago.

A mi madre, Angélica María, por tu amor infinito y paciencia. Tus palabras han sido mi aliento en los momentos difíciles, y tu confianza, la razón de mis mayores aspiraciones. Sin ti, este viaje no tendría el mismo significado.

A mi padre, Alexander Esparza, por ser compañero en cada batalla. Tu apoyo y sabiduría han moldeado mis pasos con firmeza.

A mis abuelos, Doña Nelly y Don Orlando, por ser mis raíces y mi legado de amor. Su apoyo y cariño han sido mi refugio y guía en momentos de duda. Ustedes son el hogar que siempre llevo conmigo.

A mi tío Jhon Jaimes (Q.E.P.D.), por dejar una huella imborrable en mi vida con tu fortaleza y sabiduría. A mi tía Diana Jaimes, por tu amor incondicional y luz constante. Este logro es también de ustedes.

A mis amigos, por hacer de esta etapa una aventura inolvidable. En cada risa y desafío, he encontrado la verdadera amistad. Sus recuerdos quedarán siempre en mi corazón.

A Eliana, por llenar mis días de cariño y comprensión en este último tramo. Tu compañía ha sido un regalo invaluable.

Julián Esparza

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Agradecimientos

En primer lugar, mi más profundo agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander. Este espacio académico no solo me brindó los conocimientos necesarios para alcanzar mis metas, sino que también me ofreció un entorno en el que puedo crecer tanto personal como profesionalmente. A todos los que hacen parte de esta institución, gracias por su dedicación y compromiso con la formación de estudiantes como yo.

A mi director de tesis, Luis Lambis, le agradezco por su guía y apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Su paciencia, sus valiosos consejos y su disposición a acompañarnos en cada etapa de este proyecto fueron cruciales para alcanzar este resultado. Su visión y experiencia han sido un faro de luz en los momentos de mayor incertidumbre.

A mis padres Bilba y Jorge. Su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho para que yo pudiera llegar hasta aquí. A mis hermanos Sara Valeria y Jorge Andrés, por su compañía, su aliento en los momentos difíciles y por creer siempre en mí.

A mi querida tía Rubiela Camacho, gracias por su cariño y por estar siempre pendiente de mi progreso, ofreciéndome palabras de ánimo cuando más las necesitaba. A mis abuelos Blanca, Idinael, Lucinda y Porfirio, gracias por ser fuente de sabiduría y por inculcarme el valor del esfuerzo y la importancia de la educación desde pequeño.

A mis profesores en especial a Yurany Camacho, Jorge Ramírez, Luz Marina Ballesteros y Omar Benavides, por compartir sus conocimientos y experiencias, por desafiarme a dar lo mejor de mí y por inspirarme a buscar la excelencia académica.

Un agradecimiento especial a Julián Esparza, desde el primer día ha sido un apoyo mi compañero de tesis, por su compromiso, su dedicación y por las largas horas de trabajo conjunto.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Juntos enfrentamos desafíos, compartimos ideas y superamos obstáculos que parecían insuperables. Su capacidad para colaborar y encontrar soluciones creativas fue fundamental en el desarrollo de este trabajo. No solo me apoyó en las investigaciones y en la redacción, sino que también fue un gran compañero en los momentos de duda y estrés. Sus palabras de aliento y su sentido del humor hicieron que este proceso fuera más agradable. Gracias por su amistad y por hacer de esta experiencia algo enriquecedor y memorable. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

Natalia Duarte

A la Universidad Industrial de Santander, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de crecer y desarrollarme profesionalmente en sus aulas.

Al profesor Luis Lambis, mi director de tesis, por su invaluable guía, sabiduría y apoyo constante a lo largo de este proceso. Su experiencia y dedicación han sido pilares fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto.

A mis padres, Alexander Esparza y Angélica Jaimes, mis héroes incondicionales. Gracias por su amor inmenso, por sostenerme con su apoyo inquebrantable y por creer en mí aun cuando yo mismo dudaba. Su ejemplo es mi mayor fuente de inspiración y la razón por la que hoy celebro este logro.

A mis abuelos, Orlando Jaimes y Nelly Jaimes, por ser una guía constante en mi vida. Su amor, sabiduría y valores han sido esenciales en mi formación, y gracias a ustedes he aprendido el verdadero significado de la dedicación y el esfuerzo. Siempre han sido un apoyo firme en todo lo que he emprendido, y este logro también lleva una parte de ustedes, los quiero. A mis tíos, Jhon Jaimes (Q.E.P.D.) y Diana Jaimes, por su cariño y por ser ejemplos de perseverancia y superación.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Tío Jhon, aunque ya no estés físicamente con nosotros, tu recuerdo y enseñanzas permanecen vivos en mi corazón.

A ti, Natalia, mi compañera de tesis y amiga, no encuentro palabras suficientes para agradecerte. Tu compromiso, responsabilidad y energía fueron el motor que impulsó este proyecto cuando más lo necesitaba. Gracias por ser el constante recordatorio de que juntos podíamos llegar más lejos. Nuestro trabajo en equipo no solo nos permitió superar los desafíos que se presentaron, sino que nos impulsó a crecer juntos. Tu compañía hizo de esta experiencia algo verdaderamente memorable. Gracias por tu amistad y por compartir conmigo este logro tan significativo.

A todos ustedes, mi eterno agradecimiento. Este logro no es solo mío, sino de todos los que me acompañaron en este camino.

Julián Esparza.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS
RESIDENCIALES

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Estado del Arte.....	17
3. Metodología	19
3.1 Determinación de necesidades presentes en los hogares	19
3.2 Identificación de soluciones biotecnológicas aplicables a entornos residenciales. ..	20
3.3 Análisis de aplicabilidad técnica/económica de soluciones biotecnológicas en contextos residenciales.....	22
4. Resultados	29
4.1 Determinación de necesidades que puedan abordarse mediante alternativas biotecnológicas en contextos residenciales.....	29
4.2 Identificación de soluciones biotecnológicas aplicables a entornos residenciales.	35
4.3 Análisis de aplicabilidad técnica/económica de soluciones biotecnológicas en contextos residenciales.....	38
5. Conclusiones	47
6. Recomendaciones	48
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices.....	56

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS
RESIDENCIALES

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Matriz de ponderación de importancia</i>	25
Tabla 2. <i>Resultados encuesta perfil socioeconómico.</i>	29
Tabla 3. <i>Resultados de diagnóstico de necesidades básicas y compuestas</i>	30
Tabla 4. <i>Resultados obtenidos en la sección de interés tecnológico</i>	34
Tabla 5. <i>Clasificación de Soluciones Biotecnológicas</i>	36
Tabla 6 <i>Ponderación de Criterios</i>	39
Tabla 7 <i>Pesos Relativos de Tecnologías de Energía Renovable por Criterio de Evaluación.</i>	40

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS
RESIDENCIALES

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Esquema de evaluación multicriterio AHP energías renovables.</i>	23
Figura 2 <i>Nube de palabras asociadas al término "biotecnología" por los encuestados.</i>	32
Figura 3 <i>Mapa mental de las problemáticas cotidianas en los hogares.</i>	33
Figura 4 <i>Diagrama de flujo de fases de la revisión</i>	35
Figura 5 <i>Ranking de aplicabilidad de alternativas biotecnológicas residenciales según análisis AHP</i>	40
Figura 6 <i>Árbol de decisión para biotecnologías aplicables en contextos residenciales</i>	44

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS
RESIDENCIALES

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Proceso matemático AHP	56
Apéndice B.....	57
Apéndice C.....	58

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Resumen

Título: Evaluación de alternativas de aprovechamiento biotecnológico en contextos residenciales mediante revisión bibliográfica *

Autor: Natalia Estefanía Duarte Camacho y Julián Andrés Esparza Jaimes. **

Palabras Clave: Biotecnología, Sostenibilidad, hogares

Descripción: La biotecnología tiene el potencial de transformar prácticas cotidianas en hogares, contribuyendo a entornos más sostenibles y autosuficientes. Sin embargo, la falta de acceso a información precisa sobre biotecnología representa un obstáculo significativo. Este estudio evaluó soluciones biotecnológicas aplicables en contextos residenciales con el fin de promover la adopción de tecnologías sostenibles a nivel doméstico y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Se realizó un estudio transversal y exploratorio mediante una encuesta mixta a 41 participantes para identificar necesidades y percepciones. Se efectuó una revisión bibliográfica sistemática para identificar soluciones biotecnológicas. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) se utilizó para evaluar la aplicabilidad técnica y económica de las soluciones identificadas. Se identificaron 23 tecnologías biotecnológicas en cuatro áreas principales: contaminación, alimentos, gestión de residuos y energías renovables. Los sistemas bioelectroquímicos para tratamiento de aguas residuales, la degradación por larvas de mosca soldado negra para desechos orgánicos, y los sistemas de digestión anaeróbica a pequeña escala para energías renovables emergieron como las soluciones más prometedoras en sus respectivas categorías. Las soluciones biotecnológicas identificadas ofrecen un potencial significativo para abordar desafíos residenciales. Este estudio representa un paso importante hacia la implementación de estas tecnologías en entornos domésticos, sentando las bases para futuras investigaciones que optimicen su aplicación.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Ingeniería Química. Director: Luis Enrique Lambis Benítez. Ingeniero Químico, Magister en Ingeniería Química

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Abstract

Title: Evaluación de alternativas de aprovechamiento biotecnológico en contextos residenciales mediante revisión bibliográfica *

Author(s): Natalia Estefanía Duarte Camacho y Julián Andrés Esparza Jaimes **

Key Words: Biotechnology, Sustainability, Households

Description: Biotechnology has the potential to transform everyday practices in households, contributing to more sustainable and self-sufficient environments. However, the lack of access to accurate information on biotechnology represents a significant obstacle. This study evaluated biotechnological solutions applicable in residential contexts in order to solve problems present in households. A cross-sectional, exploratory study was conducted using a mixed survey of 41 participants to identify needs and perceptions. A systematic literature review was carried out to identify biotechnological solutions. The Analytical Hierarchical Process (AHP) was used to evaluate the technical and economic applicability of the identified solutions. Twenty-three biotechnological technologies were identified in four main areas: pollution, food, waste management and renewable energy. Bioelectrochemical systems for wastewater treatment, dark hydrogen fermentation for food waste management, black soldier fly larval degradation for organic waste, and small-scale anaerobic digestion systems for renewable energy emerged as the most promising solutions in their respective categories. The biotechnological solutions identified offer significant potential for addressing residential challenges. This study represents an important step towards the implementation of these technologies in domestic settings, laying the groundwork for future research to optimize their application.

*Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Chemical Engineering Director: Luis Enrique Lambis Chemical Engineer, M.Sc. in Chemical Engineering.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Introducción

El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación ha adoptado Políticas públicas de apropiación social del conocimiento en el marco de la ciencia, impactando a más de 121.000 colombianos en todo el territorio nacional desde el año 2021 (Plazas,2024). La distancia entre la alfabetización científica y tecnológica se ha convertido en una preocupación social primordial para el desarrollo económico, la formulación de políticas públicas y la vida cotidiana (López Cerezo & Cámara, 2007). En Colombia se han consolidado programas como "A Ciencia Cierta" e "Ideas para el Cambio" en 186 organizaciones comunitarias presentes en 26 departamentos y el Distrito Capital, con el fin de evidenciar el impacto positivo de la ciencia en la vida de los colombianos (Plazas,2024), entre los avances destacados se encuentra la integración de 20 instituciones a nivel nacional como el museo del Saber en Gestión del Riesgo de Desastres, la Corporación Maloka de Ciencia, entre otros. Instituciones que tienen como parte de su misión promover la apropiación social del conocimiento (Minciencias, s.f.).

En Colombia, la transición de Ciencia a Educación y Desarrollo se basa en una propuesta que recomienda "conformar y consolidar las bases de un proyecto cultural, ético y democrático, que permita establecer un puente entre la ciencia, el crecimiento económico, el manejo sostenible del medio ambiente y el bienestar de los colombianos" (Posada et al., 1994, p. 33). Por lo que ha sido un proceso social intencionado, con el que se pretende de manera reflexiva la transferencia de enseñanza-aprendizaje con la producción de conocimiento de la ciencia (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021). Una rama de la ciencia que combina la biología y la tecnología es la biotecnología, la cual según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

(OCDE) se describe como la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a sus partes, productos y modelos, con el fin de transformar materiales vivos y no vivos en conocimientos, bienes y servicios (Martínez, 2014).

En Colombia, los desarrollos biotecnológicos han experimentado un crecimiento sostenido durante aproximadamente tres décadas, impulsados por las riquezas naturales y la posición geográfica del país. Colombia cuenta con 153 firmas de base biotecnológica distribuidas en distintos sectores (Buitrago, 2012), lo que refleja el potencial y la diversidad del sector en el país. La biotecnología agrícola ha impactado en la producción de carne bovina, palma, aceites y grasas vegetales, lácteos y productos hortofrutícolas de clase mundial (Buitrago Hurtado, 2012). En el sector de alimentos y bebidas alcohólicas, que representa el 33% de las firmas biotecnológicas, se han desarrollado procesos de fermentación y mejora de cultivos microbianos. Además, el sector de biocombustibles (8% de las firmas) ha avanzado en la producción de energías renovables a partir de biomasa. Estos desarrollos tienen como objetivo mejorar el rendimiento y la calidad de los productos, al tiempo que reducen la dependencia de prácticas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente (Shmaefsky, 2013).

La biotecnología tiene el potencial de transformar las prácticas cotidianas en los hogares, desde la producción de alimentos hasta el manejo de residuos, contribuyendo así a la creación de entornos más sostenibles y autosuficientes. Con el objetivo de producir bienes de manera sostenible, reducir la dependencia de recursos no renovables y minimizar el impacto ambiental, se busca implementar soluciones biotecnológicas en los hogares. Sin embargo, para alcanzar esta meta, es necesario superar distintos obstáculos. Entre ellos se encuentra la falta de acceso a información precisa sobre

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

biotecnología. Por lo tanto, es importante mejorar el acceso a la información científica, fomentar la educación en este campo y divulgar sus avances.

La ingeniería química, con su enfoque interdisciplinario, podría aportar significativamente en la adaptación y optimización de procesos biotecnológicos en diversos contextos. Su perspectiva crítica permitiría identificar oportunidades para integrar soluciones biotecnológicas en la vida cotidiana, cerrando la brecha entre la investigación académica y las prácticas domésticas. En este contexto, surge la pregunta de investigación: “¿Qué alternativas biotecnológicas son aplicables para solucionar problemas residenciales?”

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar soluciones biotecnológicas aplicables en contextos residenciales.

1.2 Objetivos Específicos

1. Determinar necesidades que puedan abordarse mediante alternativas biotecnológicas en contextos residenciales

2. Identificar soluciones biotecnológicas adaptables a contextos residenciales mediante revisión bibliográfica.

3. Analizar la aplicabilidad técnica/económica de soluciones biotecnológicas en contextos residenciales.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

2. Estado del Arte

La biotecnología, definida como el uso de sistemas biológicos para producir bienes y servicios que mejoren la calidad de vida humana, ha evolucionado significativamente desde sus aplicaciones tradicionales. Inicialmente, su uso se centró principalmente en aplicaciones industriales y ambientales. Por ejemplo, Ahmad et al. (2019) realizaron una revisión comparativa de métodos biotecnológicos para el tratamiento de desechos en la industria láctea, mientras que Sid (2021) evaluó alternativas biotecnológicas para la sustitución de materiales plásticos contaminantes. Gavrilesco (2020), por su parte, exploró los logros y perspectivas futuras de la biotecnología en la producción sostenible de bienes y servicios derivados de la industria química tradicional.

Sin embargo, en años recientes, la literatura ha comenzado a reportar un creciente interés en aplicaciones biotecnológicas a escala urbana. Pavel (2022) demostró la necesidad de integrar la biotecnología en el desarrollo urbano contemporáneo, fundamentándose en diversas aplicaciones como jardines de lluvia, sistemas de cultivo vertical y fotobiorreactores. En esta misma línea, Gladkov (2023) subrayó la importancia de formar especialistas en biología y biotecnología urbanas, anticipando la evolución de estas disciplinas como campos independientes en el futuro.

Paralelamente, el concepto de apropiación social del conocimiento (ASC) ha ganado relevancia en el contexto de la implementación de soluciones biotecnológicas. La ASC se define como el proceso mediante el cual una sociedad pone el conocimiento científico y tecnológico a disposición de todos sus miembros para su adaptación y aplicación (Marín Agudelo, 2012). En los últimos años, se han documentado esfuerzos para incorporar este concepto en investigaciones biotecnológicas. Por ejemplo, Dawson (2021) investigó cómo se desarrollan las comprensiones y actitudes sobre los procesos de biotecnología entre estudiantes, mientras que el Instituto

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

HudsonAlpha (2022) evaluó la eficacia de su programa educativo "Biotech 101" en el incremento del índice de alfabetización científica de los participantes.

A nivel gubernamental, se han reportado iniciativas para promover el desarrollo biotecnológico y su apropiación social. En Colombia, por ejemplo, se implementó la Estrategia Nacional de Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (Minciencias, 2020), que busca empoderar a la sociedad mediante el acceso y la comprensión del conocimiento científico y tecnológico.

No obstante, a pesar de estos avances, se observa una escasez de literatura que reporte esfuerzos específicos para aplicar biotecnologías a escala residencial o doméstica. Las encuestas de opinión pública han demostrado que las actitudes de las personas hacia la biotecnología varían, y que factores como el nivel de conocimientos, la conciencia de los beneficios, la confianza y la seguridad influyen en su aceptación o rechazo (Gaskell et al., 2019).

En este contexto, nuestra investigación se ubica en la intersección entre la biotecnología urbana y la apropiación social del conocimiento, orientándose a identificar alternativas tecnológicas aplicables a escala y contextos residenciales. Buscamos cerrar la brecha existente entre el conocimiento técnico y la participación social en el ámbito biotecnológico, mediante una evaluación de alternativas que promuevan la sostenibilidad urbana a nivel doméstico.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

3. Metodología

La metodología empleada en este proyecto se estructura en tres secciones principales, estas secciones se describirán en detalle a continuación, proporcionan un marco organizado para la ejecución sistemática del proyecto.

3.1 Determinación de necesidades presentes en los hogares

Se diseñó un estudio transversal y exploratorio para evaluar las percepciones, necesidades y receptividad hacia soluciones biotecnológicas, con el fin de identificar áreas potenciales de aplicación. El estudio es transversal porque recolecta datos en un único momento y exploratorio porque examina un tema poco estudiado sin establecer relaciones causales. Se utilizó una encuesta mixta, administrada a través de Google Forms, para recopilar datos cuantitativos y cualitativos de

41 participantes voluntarios. La muestra representativa óptima hubiera sido de 278 participantes para una población de 1000 personas correspondiente a un pueblo pequeño. Sin embargo, dado el carácter exploratorio del estudio y las limitaciones de acceso, se trabajó con una muestra por conveniencia, reconociendo esta limitación en el alcance del estudio.

La encuesta se dividió en tres secciones: perfil socioeconómico (7 preguntas), diagnóstico de necesidades básicas y compuestas (8 preguntas) y conocimiento e interés en tecnología (9 preguntas), siguiendo los principios del Tailored Design Method (TDM) (Dillman, Smyth y Christian, 2014).

El TDM es una metodología de diseño de encuestas que busca maximizar la tasa y calidad de respuesta. Se aplicaron principios del TDM como la secuencia lógica de preguntas, el uso de lenguaje claro y la minimización de la carga cognitiva para los encuestados.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Para el análisis de los datos, se aplicaron técnicas de estadística descriptiva a los datos cuantitativos, incluyendo cálculos de frecuencias y porcentajes. Las respuestas a preguntas abiertas se sometieron a un análisis de contenido temático, identificando patrones y temas recurrentes mediante herramienta de análisis de nube de ideas y mapa mental. En cuanto a las consideraciones éticas, se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes previo a su inclusión en el estudio, garantizando su anonimato y la confidencialidad de la información recopilada.

3.2 Identificación de soluciones biotecnológicas aplicables a entornos residenciales.

Con el fin de identificar tecnologías biotecnológicas aplicables en entornos residenciales, se desarrolló una búsqueda de información siguiendo una metodología sistemática de revisión bibliográfica, adaptada de la propuesta por Arksey y O'Malley (2005). El proceso se estructuró en las siguientes fases:

- Definición de la estrategia de búsqueda: Se construyó una ecuación de búsqueda utilizando palabras clave y operadores booleanos, considerando los temas principales identificados en la etapa de determinación de necesidades. Para garantizar la relevancia y disponibilidad en contextos residenciales, se incluyeron específicamente los términos "home", "household", "domestic" y "DIY". La ecuación resultante fue:

("biotechnology" OR "bioengineering" OR "biohacking") AND ("home" OR "household" OR "domestic" OR "DIY" OR "in-home" OR "at home") AND ("applications" OR "technologies" OR "methods" OR "systems") AND ("food production" OR "waste management" OR "composting" OR "energy production" OR "solar energy" OR "water purification" OR "aquaponics" OR "hydroponics" OR "fermentation")

- Búsqueda en bases de datos: Se realizó la búsqueda en Scopus, aplicando los siguientes criterios de inclusión inicial:

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

-Idioma: inglés

-Temporalidad: publicaciones de los últimos 10 años

-Tipo de documento: Revisiones y artículos originales

•Categorización: Los artículos obtenidos se categorizaron según las siguientes oportunidades identificados como prioritarios en la etapa de encuesta:

-Gestión de residuos (basuras)

-Energías renovables (solar, eólica, otras)

-Descontaminación (Tratamiento de agua y filtro de aire)

-Alimentos

Aquellos artículos que no se pudieran clasificar dentro de estas categorías fueron descartados.

•Evaluación de calidad: Se implementó una adaptación de la escala de Jadad para evaluar la calidad de los estudios y filtrar los artículos más relevantes. Esta escala, originalmente diseñada para ensayos clínicos, se modificó para evaluar estudios biotecnológicos considerando los siguientes aspectos:

-Claridad de objetivos y metodología

-Reporte cuantitativo de resultados

-Discusión de escalabilidad

-Descripción detallada de materiales y métodos

-Impacto ambiental

-Comparación con alternativas existentes

-Consideraciones económicas

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Cada artículo se puntuó según estos criterios con un sistema binario (1 punto si cumple, 0 si no cumple). Para ser incluido en el análisis final, un artículo debía obtener una puntuación de 4 o más sobre 7, representando el umbral del 60% establecido como margen de aceptación dentro esta escala.

3.3 Análisis de aplicabilidad técnica/económica de soluciones biotecnológicas en contextos residenciales.

En esta investigación, se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para evaluar la aplicabilidad de soluciones biotecnológicas residenciales en cuatro áreas clave: Alimentos, Contaminación, Energías Renovables y Gestión de Residuos. El AHP, desarrollado por ThomasL. Saaty (2008), es una metodología de toma de decisiones multicriterio que permite analizar problemas complejos mediante la estructuración jerárquica y la comparación pareada de alternativas.

El primer paso del AHP consistió en organizar los componentes del problema de toma de decisiones en una estructura jerárquica por niveles.

El primer nivel estableció el enfoque principal: analizar la aplicabilidad de soluciones tecnológicas en las áreas de alimentos, contaminación, energías renovables y gestión de residuos. El segundo nivel se dividió en dos enfoques: técnico y económico. El aspecto técnico abarcó las características operativas y funcionales de las soluciones, mientras que el económico consideró los factores financieros y de rentabilidad. El tercer nivel descompuso estos aspectos en criterios específicos.

Para el técnico, se consideraron:

- Eficiencia: capacidad de lograr el efecto deseado con mínimo uso de recursos.
- Escalabilidad: potencial de crecimiento o adaptación a diferentes escalas.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

-Facilidad de implementación: complejidad y recursos necesarios para su puesta en marcha.

-Mantenimiento: requerimientos para mantener la operatividad óptima.

Para el económico, se consideraron:

-Costo inicial: inversión necesaria para adquirir e instalar la tecnología. Costo operativo: gastos continuos asociados al funcionamiento.

-Retorno de inversión: tiempo y tasa de recuperación de la inversión inicial. Vida útil: duración esperada de la tecnología antes de obsolescencia.

El cuarto nivel presentó las alternativas: 23 tecnologías identificadas, clasificadas y codificadas según el área en el objetivo 2. Estas tecnologías representaron las opciones a evaluar según los criterios definidos

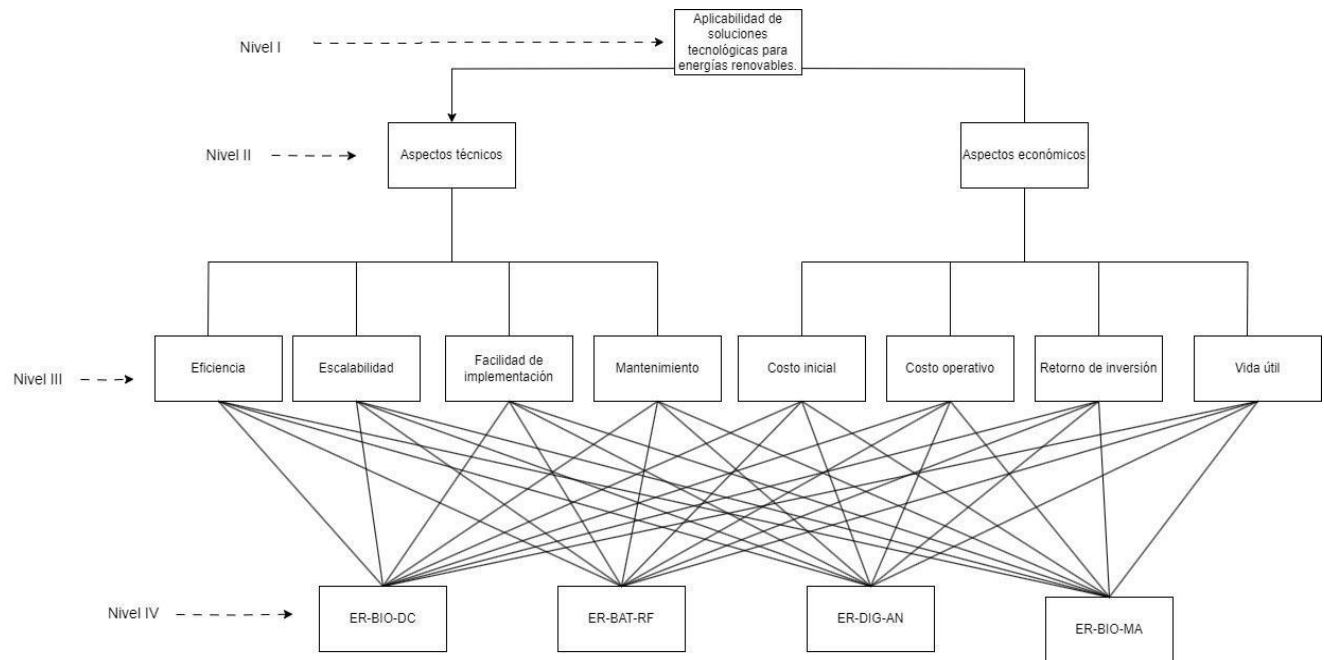
La figura 1 muestra la estructura jerárquica de cuatro niveles, utilizando el área de energías renovables como ejemplo descrito anteriormente.

Figura 1.

Esquema de evaluación multicriterio AHP energías renovables.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES



La figura 1. Ilustra de manera visual la jerarquía y las interrelaciones entre los niveles, sirviendo como base para la posterior elaboración de las matrices de comparación de acuerdo a la metodología AHP.

El segundo paso del AHP evaluó la importancia relativa de los criterios (nivel 3). Esta evaluación se realizó mediante comparaciones por pares de criterios, respondiendo a preguntas como: "¿Cuánto más importante es la Eficiencia (T1) en comparación con la Escalabilidad (T2)?"

El proceso se repitió para todas las combinaciones: Eficiencia (T1) frente a Facilidad de implementación (T3), Eficiencia (T1) frente a Mantenimiento (T4), Escalabilidad (T2) frente a Costo Inicial (E1), y así sucesivamente, hasta comparar todos los criterios entre sí.

En el AHP, estas comparaciones se realizaron utilizando una escala de nueve puntos que representaba la intensidad de las preferencias. Esta escala, mostrada en la Tabla 1, abarcaba desde "igualmente importante" (ratio = 1) hasta "extremadamente importante" (ratio = 9).

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Para asignar estos valores, se consideraron factores como la relevancia relativa, el impacto potencial y la contribución al objetivo general. Por ejemplo, si comparamos dos criterios A y B, una calificación de 2 indicaría que A es ligeramente más importante que B, mientras que una calificación de 5 sugeriría que A es considerablemente más importante que B.

La revisión bibliográfica realizada para el objetivo 2 proporcionó datos relevantes que fundamentaron las comparaciones individuales. Estos datos sirvieron como base para que los autores pudieran emitir juicios informados sobre cada criterio, basándose tanto en la evidencia recopilada por criterio propio.

Tabla 1.

Matriz de ponderación de importancia

Escala Numérica	Definición	Escala Verbal
1	Igual importancia	Ambos elementos son de igual importancia
3	Importancia moderada	Moderada importancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte importancia	Fuerte importancia de un elemento sobre otro
7	Muy fuerte importancia	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Importancia intermedia entre juicios adyacentes
Recíprocos de los anteriores		Si la actividad tiene uno de los números anteriores distintos de cero asignados cuando es comparado con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco en comparación
1.1 - 1.9	Si las actividades son muy cercanas	Para diferencias de importancias pequeñas se puede hacer uso de números decimales

Nota * Esta tabla muestra la matriz de ponderación de importancia adaptado de Retamal et al., (2019), Revista de la Facultad de Ciencias, 30(3), p. 348.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

En el tercer paso se procedió al cálculo de los pesos relativos de los criterios, determinando la importancia relativa de cada uno en el contexto de la decisión global. Este proceso, basado en las comparaciones pareadas del paso anterior, implicó las operaciones matriciales secuenciales definidas en el Anexo A.

Inicialmente, se creó una matriz cuadrada $A = (a_{ij})$ donde cada elemento a_{ij} representaba la importancia relativa del criterio i respecto al criterio j . Luego, se normalizó esta matriz dividiendo cada elemento por la suma de su columna respectiva, obteniendo así una nueva matriz normalizada.

El vector final de peso w se obtuvo calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada. Los componentes de este vector representan los pesos relativos de los criterios.

Para verificar la consistencia de las comparaciones, se calculó el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR). Si $CR < 0.1$, se consideraron aceptables los juicios emitidos, para más información de su cálculo consultar el anexo A.

Para realizar estos cálculos matriciales se utilizó Microsoft Excel. Se emplearon funciones específicas de Excel como MMULT () para la multiplicación de matrices y PROMEDIO () para el cálculo de promedios.

Una vez determinados los pesos de los criterios, el cuarto paso del AHP consistió en evaluar las alternativas consideradas para cada área. Por ejemplo, en el área de las energías renovables, las alternativas son las siguientes: Tecnologías de biomasa distribuidas y centralizadas (ER-BIO-DC), Batería de flujo redox acuosa basada en polímeros (ER-BAT-RF), Digestión anaeróbica para producción de bioenergía (ER-DIG-AN), Producción de biogás a pequeña escala utilizando microalgas y cianobacterias (ER-BIO-MA).

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Esta evaluación se realizó de manera similar a la evaluación de la importancia relativa de los criterios, pero involucrando una serie de comparaciones pareadas de las alternativas. Estas comparaciones pareadas se realizaron para cada par de alternativas en cada uno de los criterios.

Se respondieron preguntas como: "Con respecto a la Eficiencia (T1), ¿cuánto se prefiere la alternativa ER-BIO-DC sobre ER-BAT-RF?" o "En términos de Costo Inicial (E1), ¿cuánto se prefiere ER-DIG-AN sobre ER-BIO-MA?".

El paso final del AHP combinó los pesos de los criterios del tercer paso con las puntuaciones de las alternativas del quinto paso. Se multiplicó cada peso del vector final de peso w por la puntuación correspondiente de la alternativa en ese criterio. La suma de estos productos para cada alternativa generó una puntuación global. Este cálculo se realizó para ER-BIO-DC, ER-BAT-RF, ER-DIG-AN y ER-BIO-MA. Las puntuaciones totales permitieron establecer una clasificación final de las alternativas tecnológicas evaluadas.

Tras la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para evaluar las biotecnologías residenciales sostenibles, se desarrolló un árbol de decisión como herramienta pedagógica y de apoyo. Este enfoque tiene como objetivo principal facilitar la toma de decisiones informadas sobre la selección de biotecnologías apropiadas para sus contextos residenciales específicos.

El proceso metodológico para la creación de esta herramienta de apoyo comenzó con la selección de las alternativas principales. Se identificaron las biotecnologías mejor puntuadas según el AHP para cada área de aplicación. Estas tecnologías se clasificaron luego en cuatro categorías principales basadas en sus áreas de aplicación: Bioenergética Residencial, Biotransformación de Residuos, Biotecnología Alimentaria Sostenible, y Biorremediación y Purificación Ambiental.

Dentro de cada categoría principal, se implementó una subcategorización por rangos de precio. Las tecnologías se agruparon en tres rangos: inferior a \$2,000,000 COP, entre \$2,000,000

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

y \$10,000,000 COP, y superior a \$10,000,000 COP. Esta subcategorización ayuda a los usuarios a considerar opciones tecnológicas dentro de su capacidad de inversión prevista, proporcionando una guía práctica para la toma de decisiones financieras.

La estructuración del árbol de decisión se realizó mediante la construcción de un árbol jerárquico de tres niveles para guiar al usuario a través del proceso de selección. El primer nivel presenta las categorías de biotecnologías, seguido por el rango de precio en el segundo nivel, y finalmente las tecnologías específicas como opciones finales en el tercer nivel con la información complementaria de su escala.

Se definieron cuatro escalas de aplicación basadas en la capacidad, espacio requerido y contexto de aplicación. La escala muy pequeña tiene una capacidad de 1-2 personas, requiere menos de 2 m² de espacio y se aplica en apartamentos pequeños o habitaciones individuales. La escala pequeña tiene una capacidad de 3-6 personas, necesita entre 2-20 m² y es adecuada para casas independientes o apartamentos grandes. La escala mediana puede acomodar de 7 a 50 personas, ocupa entre 20-100 m² y se utiliza en pequeños edificios residenciales o urbanizaciones pequeñas. Finalmente, la escala comunitaria tiene una capacidad de 51-500 personas, requiere entre 100- 1000 m² y se aplica en grandes conjuntos residenciales o barrios.

Para facilitar la comprensión y el uso de la herramienta, se desarrolló una representación visual del árbol de decisión utilizando un formato de lista jerárquica. Esta representación gráfica permite una comprensión clara y rápida de las opciones disponibles, mejorando la accesibilidad de la información para los usuarios.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

4. Resultados

4.1 Determinación de necesidades que puedan abordarse mediante alternativas biotecnológicas en contextos residenciales.

La Tabla 2. se centra en la presentación la primera sección enfocada en los perfiles socioeconómicos de la muestra encuestada.

Tabla 2.

Resultados encuesta perfil socioeconómico.

1. ¿A qué estrato socioeconómico pertenece?	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco o mas
	31%	41%	22%	6%	0%
2. ¿Cuántas personas conforman su hogar?	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco o mas
	12%	15%	32%	24%	17%
3. ¿Cuántas personas reciben ingresos en su hogar?	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco o mas
	56%	37%	5%	2%	0%
4. ¿A cuánto ascienden los ingresos mensuales en su hogar?	0-1 SMLV	1-2 SMLV	2-3 SMLV	3-4 SMLV	4-5 SLMV
	29%	37%	22%	7%	5%
5. ¿Cuántos de sus ingresos invierte en su hogar para mantenimiento?	0-1 SMLV	1-2 SMLV	2-3 SMLV	3-4 SMLV	4-5 SLMV
	49%	39%	7%	5%	0%
6. ¿El sector de su residencia es?	Rural			Urbano	
	33%			67%	
7. ¿Cuál es su máximo nivel de estudio finalizado?		Secundaria básica	Técnico/tecnólogo	Pregrado	Postgrado
		46%	25%	22%	7%

Los datos recopilados revelan una concentración significativa en los estratos socioeconómicos bajos. El 72% de los encuestados pertenecen a los estratos 1 y 2, lo cual contrasta

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

con el 44.8% reportado a nivel nacional por el DANE (2019). Esta sobrerrepresentación de estratos bajos sugiere una población con recursos limitados, lo que condiciona su acceso a la tecnología. En cuanto a los ingresos, el 66% de los hogares en la muestra percibe entre 0-2 SMLV (Salarios Mínimos Legales Vigentes). Este resultado se alinea estrechamente con el dato nacional del DANE (2021), que indica un 65.9% en este rango de ingresos. La concordancia en este aspecto valida la representatividad de la muestra en términos de capacidad económica.

En la Tabla 3. se representa los resultados obtenidos de la segunda sección de la encuesta

Tabla 3.

Resultados de diagnóstico de necesidades básicas y compuestas

¿Con cuáles de los siguientes de los siguientes servicios públicos, privados o comunales cuenta en su hogar?	Energía Eléctrica	Alcantarillado	Gas natural domiciliario	Recolección de basuras	Acueducto
	97,6%	66,67%	78,50%	61,9%	78,57%
¿El agua llega a su hogar los siete días de la semana?		Siempre	Casi siempre	Casi nunca	Nunca
		46%	44%	7%	2%
¿Qué tan frecuente presenta fallas de energía?		Siempre	Casi siempre	Casi nunca	Nunca
		5%	12%	68%	15%
¿Cuenta con servicio de recolección de residuos (basuras)?		Siempre	Casi siempre	Casi nunca	Nunca
		5%	12%	68%	15%
¿Cuenta con servicio de recolección de residuos (basuras)?		Si		No	
		68%		32%	

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

	Si	No
¿Realiza usted alguna actividad productiva con sus desechos (basura)?	73%	27%
¿Produce o cultiva usted comida en su hogar?	76%	24%
¿Produce insumos para el proceso de cultivo?	17%	83%

En los datos recopilados en comparación con los datos nacionales del DANE (2020) muestran lo siguiente: energía eléctrica (97.6% vs 96.8%), acueducto (78.5% vs 86.4%), alcantarillado (66.67% vs 76.6%), gas natural (78.5% vs 66.8%) y recolección de basuras (61.9% vs 81.6%). La energía eléctrica mantiene una cobertura alta en ambos casos, mientras que el gas natural muestra una cobertura notablemente mayor en la muestra. En contraste, los servicios de acueducto, alcantarillado y recolección de basuras presentan coberturas considerablemente menores en la muestra comparado con los datos del DANE. Estas discrepancias podrían indicar diferencias en las áreas muestreadas, posibles cambios en la cobertura desde 2020, o variaciones en la metodología de recolección de datos.

Las prácticas de autosuficiencia, como el uso de desechos y la producción doméstica de alimentos, sugieren una disposición hacia métodos sostenibles. Este panorama indica una combinación de desafíos en infraestructura urbana y un potencial creciente en prácticas sostenibles a nivel doméstico, facilitando la adopción de biotecnologías. La estabilidad relativa en agua y electricidad sugiere la necesidad de complementar y mejorar estos servicios. Las soluciones biotecnológicas deben considerar la interrelación entre los servicios públicos y las prácticas sostenibles existentes.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

La figura 2 muestra una nube de palabras que representa los términos asociados a "biotecnología" por los encuestados. Esta visualización ofrece una representación de las palabras y conceptos que los participantes del estudio relacionan más frecuentemente con el campo de la biotecnología.

Figura 2.

Nube de palabras asociadas al término "biotecnología" por los encuestados.



En la figura 2. Se revela una percepción predominante de términos relacionados con sostenibilidad y ecología, como "Sostenibilidad", "Ecofriendly" y "Bienestar". En contraste, conceptos técnicos específicos de la biotecnología, como "Microorganismo" o "Proceso químico", aparecen con menor prominencia. Esta distribución sugiere que la percepción pública de la biotecnología tiende a enfocarse más en sus aplicaciones y beneficios generales que en sus fundamentos científicos y técnicos. Tal representación podría indicar un conocimiento

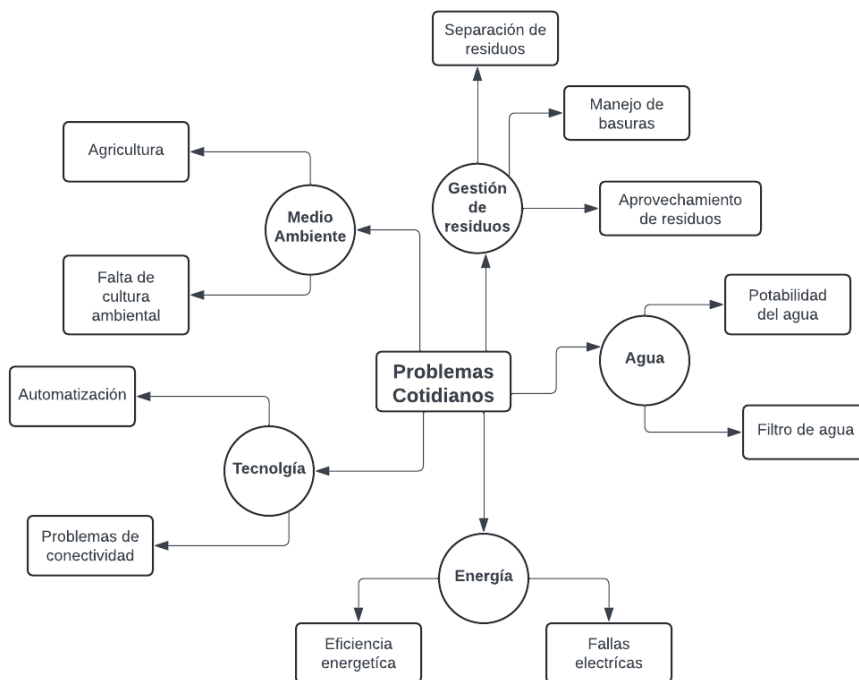
ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

predominantemente superficial o generalizado de la biotecnología entre los encuestados, con un énfasis en sus implicaciones ambientales y sociales más que en sus aspectos científicos específicos.

En la figura 3. se representa la pregunta abierta de los problemas cotidianos presentes en los hogares.

Figura 3.

Mapa mental de las problemáticas cotidianas en los hogares.



En la figura 3. se ilustra la interconexión de los problemas cotidianos, centrándose en cinco áreas clave: medio ambiente, gestión de residuos, agua, tecnología y energía. Esta representación refleja la complejidad de los desafíos diarios, desde la sostenibilidad ambiental hasta la eficiencia energética. El gráfico destaca cómo estos aspectos se relacionan, afectando significativamente la calidad de vida. Subraya la necesidad de soluciones integrales que aborden simultáneamente la preservación del entorno, la gestión eficiente de recursos y la innovación tecnológica, lo que da

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

cabida a innovaciones en el área de biotecnología porque éstas pueden ofrecer soluciones sostenibles para la agricultura, el tratamiento de aguas y la gestión de residuos, mejorando la eficiencia de los procesos y reduciendo el impacto ambiental.

Tabla 4.

Resultados obtenidos en la sección de interés tecnológico

¿Estaría dispuesto a implementar soluciones tecnológicas en su hogar si estas fueran accesibles y fáciles de usar?	Si	No	Tal vez	
	90,4%	2,4%	7,10%	
¿Qué tipo de soluciones biotecnológicas consideraría para su hogar?	Gestión de residuos (basuras)	Energías renovables (solar, eólica, otras)	Descontaminar (Tratamiento de agua y filtro de aire)	
	22	30	20	
¿Tiene acceso a materiales biodegradables o compostables en su hogar?	Si	No		
	51%	49%		
¿Estaría dispuesto a separar los residuos orgánicos para su reciclaje o compostaje?	Si	No		
	100%	0%		
¿Estaría dispuesto a invertir en biotecnología para mejorar su hogar?	Si	No	Tal vez	
	31%	2%	67%	
¿Cuánto estaría dispuesto a pagar anualmente por una solución biotecnológica que resuelva un problema en su hogar?	0-1 SMLV	1-2 SMLV	2-4 SMLV	Más de 5 SMLV
	85%	7%	5%	3%
¿Qué tipo de apoyo le gustaría tener para implementar y mantener biotecnológica en su hogar?	Capacitación	Videos Instructivos	Visitas técnicas	Folletos y Manuales
	29	16	23	12

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Los resultados representados en la Tabla 4. revela un interés significativo en implementar soluciones biotecnológicas en el hogar, con un 90.4% de los encuestados dispuestos a adoptarlas si son accesibles y fáciles de usar. Las energías renovables, la gestión de residuos y la descontaminación son las áreas de mayor interés. Existe una división equilibrada en el acceso actual a materiales biodegradables, pero una disposición unánime a separar residuos orgánicos. Aunque solo el 31% está seguro de invertir en biotecnología para el hogar, un 67% lo considera posible, indicando apertura a la idea. En general, los resultados sugieren una población receptiva a las tecnologías sostenibles en el hogar, con preferencia por opciones económicas y un deseo de participación en su implementación.

4.2 Identificación de soluciones biotecnológicas aplicables a entornos residenciales.

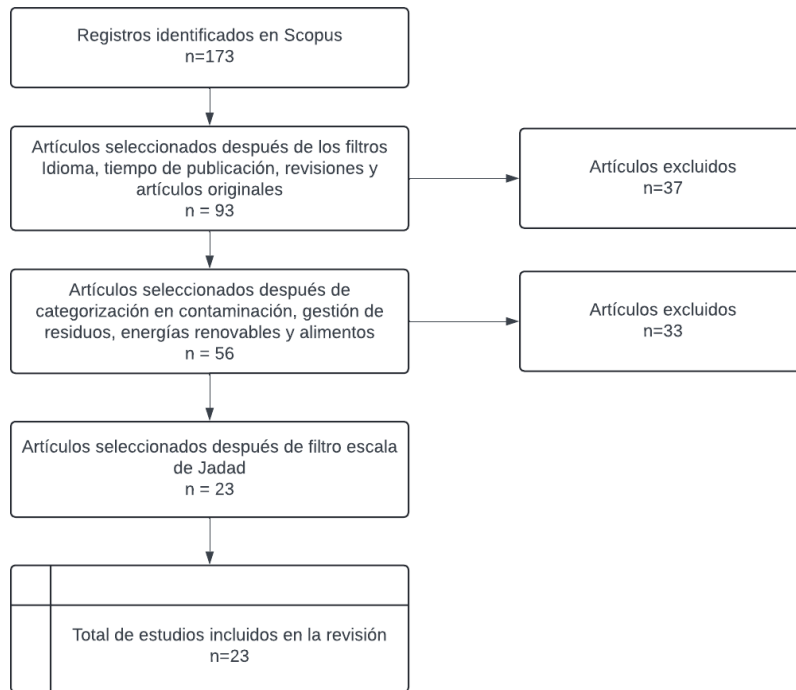
En la figura 4. Se representa el diagrama de flujo de la etapa de selección de literatura académica.

Figura 4.

Diagrama de flujo de fases de la revisión

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES



Esta figura 3 ilustra el proceso de selección de artículos. Partiendo de 173 registros inicialmente identificados en Scopus, se aplicaron filtros mencionados en la segunda etapa de la metodología para refinar la selección. El primer filtro, basado en idioma, tiempo de publicación, tipo de revisiones y originalidad, redujo el número a 93 artículos, excluyendo 37. Los artículos restantes, se categorizaron por áreas específicas según en el objetivo anterior (alimentos, contaminación, energías renovables y gestión de residuos) lo cual eliminó 33 artículos dejando 56. El último filtro, basados en la escala de Jadad, resultó en 23 artículos finales para la revisión.

En la tabla 5. se presentan las tecnologías obtenidas de los artículos seleccionados.

Tabla 5.

Clasificación de Soluciones Biotecnológicas

Área	Tecnología	Código	Referencia
Contaminación	Biocubiertas para mitigación de olores en vertederos	CO-BIO-OL	Hafid et al., 2015

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

	Biolixiviación para mejorar la deshidratación del digestato	CO-BIO-DH	Vázquez et al., 2015
	Tratamiento anaeróbico y fototrófico de aguas residuales domésticas	CO-ANA-FO	Enebe & Erasmus, 2023
	Biocátodo desnitrificante en una celda de combustible microbiana	CO-BIO-CM	Tigunova et al., 2023
	Sistemas bioelectroquímicos para tratamiento de aguas residuales domésticas	CO-BIO-EQ	Yun et al., 2018
	Estanque de algas de alta tasa para tratamiento de aguas residuales domésticas y piscícolas	CO-ALG-AR	Li et al., 2015
	Proceso de membrana de biopelícula de fibra fija para recuperación de aguas grises	CO-MEM-AG	Hovorukha et al., 2021
	Rediseño de tecnologías de tratamiento de aguas residuales	CO-RED-AR	Torrijos et al., 2021
	Tratamiento terciario de aguas residuales basado en pulgas de agua	CO-PUL-AR	Lalander et al., 2020
	Producción simultánea de celulosa y tratamiento de aguas residuales domésticas	CO-CEL-AR	Xiang et al., 2024
Alimentos	Pretratamientos para producción de azúcares fermentables de residuos de cocina	AL-PRE-AZ	Zhang et al., 2018
	Producción de butanol utilizando bagazo de manzana	AL-BUT-MA	Shoener et al., 2014
	Fermentación oscura de hidrógeno para degradación de residuos alimentarios	AL-FER-HI	Al-Mamun et al., 2016
	Compostaje de residuos alimentarios integrado con huertos vegetales	AL-COM-HU	Janoschka et al., 2015
	Irrigación con aguas residuales domésticas tratadas en cultivo hidropónico de arroz	AL-IRR-HI	Vasco-Correa et al., 2018
Gestión de residuos	Compostaje descentralizado	GR-COM-DE	Brown et al., 2015
	Vermicompostaje	GR-VER-CO	Aslam et al., 2023
	Compostaje utilizando larvas de mosca soldado negra	GR-COM-MS	Posadas et al., 2015
	Degradación de residuos biodegradables domésticos por larvas de mosca soldado negra	GR-DEG-MS	Deže et al., 2020
Energías renovables	Tecnologías de biomasa distribuidas y centralizadas	ER-BIO-DC	Jabornig & Podmirseg, 2015
	Batería de flujo redox acuosa basada en polímeros	ER-BAT-RF	McConville et al., 2014
	Digestión anaeróbica para producción de bioenergía	ER-DIG-AN	Abdullahi et al., 2023
	Producción de biogás a pequeña escala utilizando microalgas y cianobacterias	ER-BIO-MA	Libardi et al., 2019

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

En la tabla 5. Además, se agruparon las tecnologías en cuatro áreas principales. En el área de contaminación, se destacan soluciones como biocubiertas para mitigación de olores en vertederos y diversos métodos de tratamiento de aguas residuales, incluyendo sistemas bioelectroquímicos y procesos basados en algas, todos dirigidos a reducir la contaminación del agua y del aire. En el ámbito de alimentos, se presentan técnicas que abordan el manejo de residuos alimentarios y su aprovechamiento, como la producción de azúcares fermentables de residuos de cocina y la fermentación para obtener productos como butanol e hidrógeno, además de métodos que integran el manejo de residuos con la producción agrícola. La gestión de recursos se centra principalmente en diferentes formas de compostaje, incluyendo métodos innovadores como el uso de larvas de mosca soldado negra, que buscan convertir residuos orgánicos en recursos útiles. Por último, en energías renovables, se enfatizan tecnologías para convertir biomasa en energía, como las tecnologías de biomasa distribuidas y centralizadas, junto con innovaciones en la producción de biogás utilizando microalgas y cianobacterias, así como sistemas de almacenamiento de energía como baterías de flujo redox.

4.3 Análisis de aplicabilidad técnica/económica de soluciones biotecnológicas en contextos residenciales.

La Tabla 6 presenta los pesos relativos de los criterios, calculados mediante el procedimiento matemático descrito en el tercer paso de la metodología AHP. Los pesos relativos priorizan factores económicos a largo plazo y eficiencia técnica. Retorno de inversión (E3), Eficiencia (T1) y Vida útil (E4) tienen los mayores pesos, mientras que los criterios de implementación y costos iniciales reciben menor prioridad. Esto indica que la evaluación de las

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

soluciones tecnológicas se centra en el desempeño y la viabilidad económica a largo plazo sobre consideraciones inmediatas.

Tabla 6

Ponderación de Criterios

Eficiencia (T1)	18%
Escalabilidad (T2)	10%
Facilidad de implementación (T3)	6%
Mantenimiento (T4)	4%
Costo Inicial (E1)	6%
Costo operativo (E2)	10%
Retorno de inversión (E3)	28%
Vida útil (E4)	18%

*Nota** Ponderaciones de criterios por prioridad, los cálculos fueron realizados por los autores de acuerdo a la metodología AHP

El índice de consistencia calculado de 0.0083 es menor que el umbral de 0.1 establecido por Saaty (1980) en el método AHP. Este valor indica alta consistencia en las comparaciones pareadas de criterios, sugiriendo coherencia en las evaluaciones realizadas. La baja magnitud del índice respalda la validez de los pesos relativos obtenidos para los criterios. Es imperativo reconocer que, si bien la consistencia matemática es deseable en el AHP, un índice de consistencia excepcionalmente bajo no garantiza per se la validez del modelo decisional. Ozdemir (2005) argumenta que cierto grado de inconsistencia puede ser intrínseco a los procesos de decisión complejos.

El proceso comparativo se extendió a todos los criterios evaluados. La Tabla 7 sintetiza los resultados, presentando los pesos relativos de cada tecnología de energía renovable según criterios técnicos y económicos. Los porcentajes reflejan el desempeño relativo de cada tecnología en cada

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

criterio. Por ejemplo, ER-DIG-AN lidera en eficiencia técnica con 47%, mientras ER-BAT-RF destaca en costo inicial con 54%. Esta cuantificación permite una evaluación objetiva de las fortalezas y debilidades de cada tecnología.

Tabla 7.

Pesos Relativos de Tecnologías de Energía Renovable por Criterio de Evaluación.

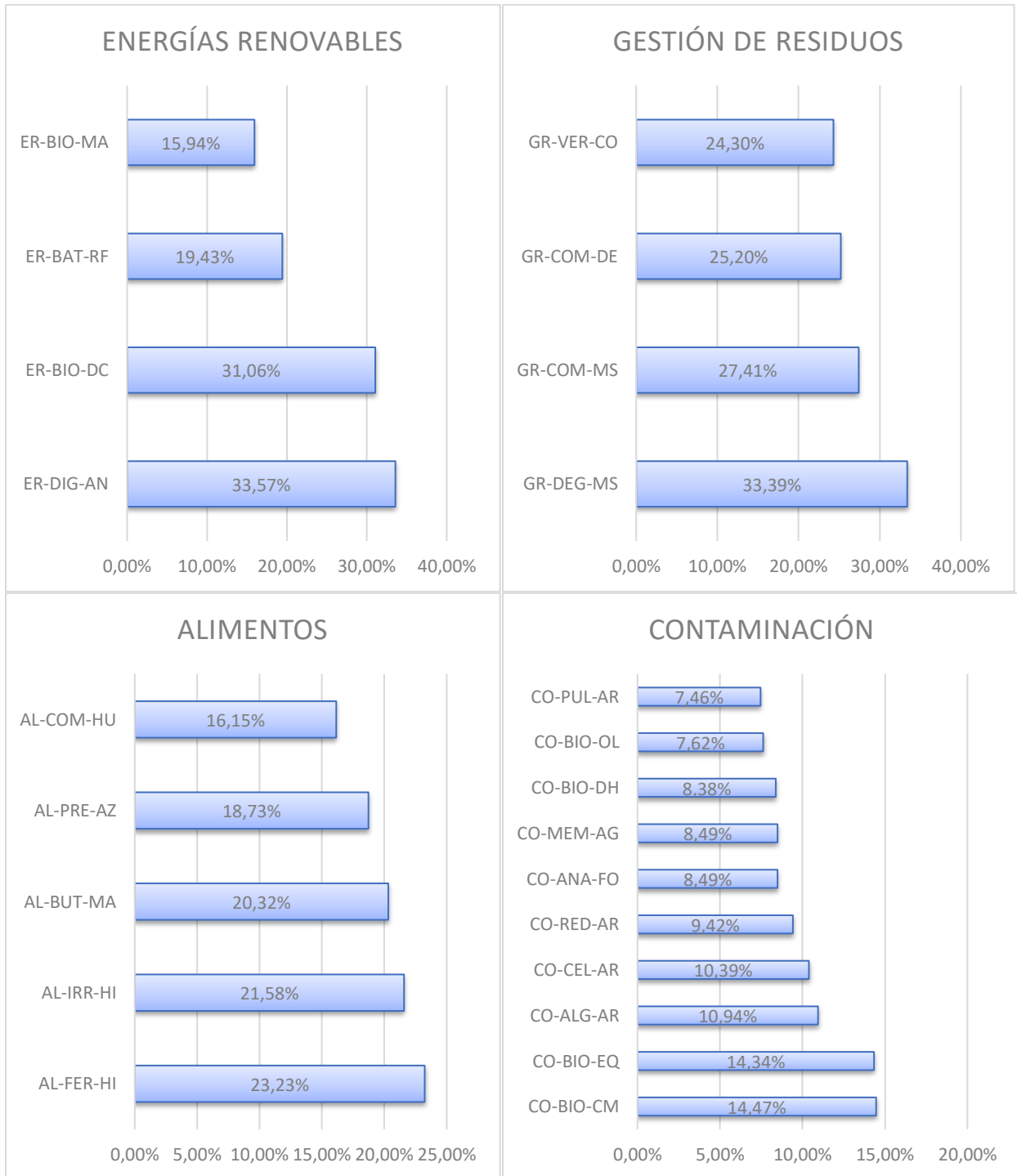
	ER-BIO-DC	ER-BAT-RF	ER-DIG-AN	ER-BIO-MA
Eficiencia (T1)	28%	10%	47%	16%
Escalabilidad (T2)	47%	28%	16%	10%
Facilidad de implementación (T3)	28%	47%	16%	10%
Mantenimiento (T4)	16%	10%	28%	47%
Costo Inicial (E1)	23%	54%	14%	8%
Costo operativo (E2)	16%	10%	28%	47%
Retorno de inversión (E3)	28%	16%	47%	10%
Vida útil (E4)	47%	16%	28%	10%

Figura 5.

Ranking de aplicabilidad de alternativas biotecnológicas residenciales según análisis AHP

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES



En el tratamiento de contaminación, los sistemas bioelectroquímicos (CO-BIO-CM y CO-BIO-EQ) se presentan como una solución prometedora para el tratamiento de contaminación y la

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

generación de energía limpia. Estos sistemas ofrecen la capacidad de desalinizar agua, eliminar contaminantes y recuperar recursos con un bajo consumo energético (Bioritech, 2016). La eficacia de los BES en el control de la contaminación y la recuperación de energía está influenciada por diversos factores, incluyendo pH, temperatura, conductividad, sustratos, inóculos, campos magnéticos y parámetros de diseño del reactor (RSC Advances, 2019). Además, los BES proporcionan una plataforma de remediación ambiental eficiente y económica para contaminantes complejos, utilizando electrodos como aceptores de electrones no agotables (Biotechnology Advances, 2015). Sin embargo, estos sistemas aún requieren optimización para mejorar su eficiencia energética y la eficacia del tratamiento, lo que podría ayudar a superar las barreras de costos.

En el contexto del manejo de residuos alimentarios, las tecnologías de fermentación oscura y preparaciones microbianas granulares (GMP) muestran un potencial para la producción de energía limpia y la reducción de la contaminación. Las GMP destacan por su capacidad para degradar residuos alimentarios tanto sólidos como líquidos, generando hidrógeno verde y disminuyendo el impacto ambiental (MDPI, 2021). La combinación de fermentación en estado sólido y producción de hidrógeno fermentativo oscuro mejora la tasa de hidrólisis, la utilización de materias primas y el rendimiento de hidrógeno (Bioritech, 2015). Además, al combinar la fermentación oscura con la digestión anaeróbica, se logra producir bioetanol y biogás estables, con un contenido de metano del 6% y 58% respectivamente, sin necesidad de control externo del pH (Int. J. Hydrogen Energy, 2012).

En el tratamiento de contaminación, los sistemas bioelectroquímicos (CO-BIO-CM y CO-BIO-EQ) se presentan como una solución prometedora para el tratamiento de contaminación y la generación de energía limpia. Estos sistemas ofrecen la capacidad de desalinizar agua, eliminar

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

contaminantes y recuperar recursos con un bajo consumo energético (BiorTech, 2016). La eficacia de los BES en el control de la contaminación y la recuperación de energía está influenciada por diversos factores, incluyendo pH, temperatura, conductividad, sustratos, inóculos, campos magnéticos y parámetros de diseño del reactor (RSC Advances, 2019). Además, los BES proporcionan una plataforma de remediación ambiental eficiente y económica para contaminantes complejos, utilizando electrodos como aceptores de electrones no agotables (Biotechnology Advances, 2015). Sin embargo, estos sistemas aún requieren optimización para mejorar su eficiencia energética y la eficacia del tratamiento, lo que podría ayudar a superar las barreras de costos.

Para el manejo de residuos, las larvas de la mosca soldado negra (BSF) se presentan como una solución prometedora para el manejo sostenible de residuos orgánicos y la producción de energía renovable. Estos organismos pueden reducir eficazmente los desechos orgánicos en aproximadamente un 50% (MDPI, 2022), mientras que también disminuyen los compuestos olorosos del estiércol del ganado en un 87% o más (Science Direct, 2018). Además, el compostaje con larvas de BSF mejora significativamente los niveles de nutrientes en los fertilizantes orgánicos y reduce las concentraciones de metales pesados a niveles aceptables (Springer, 2019). Esta tecnología podría integrarse en un sistema híbrido que combine radiación solar, energía eólica y biomasa, mejorando la disponibilidad de energía y reduciendo costos para usuarios fuera de la red (Rounaghi et al., 2021).

Y por último, en el ámbito de las energías renovables, los sistemas de digestión anaeróbica a pequeña escala (ER-DIG-AN) muestran potencial para la producción descentralizada de energía. Vögeli et al. (2014) señalan que estos sistemas pueden generar biogás a partir de residuos biodegradables de cocina doméstica. Según Surendra et al. (2014), los digestores de biogás

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

domésticos ofrecen ventajas como rentabilidad, facilidad de manejo y reducción de residuos orgánicos, permitiendo su uso para cocina, iluminación y electricidad.

Por otro lado, las tecnologías de biomasa distribuidas (ER-BIO-DC) presentan desafíos y oportunidades. Gu et al. (2012) indican que en zonas urbanas de China, los sistemas de energía distribuidos son viables, aunque con eficiencia económica limitada. Como alternativa, Rounaghi et al. (2021) proponen un sistema híbrido que combina radiación solar, energía eólica y biomasa, el cual podría mejorar la disponibilidad de energía y reducir costos para usuarios fuera de la red.

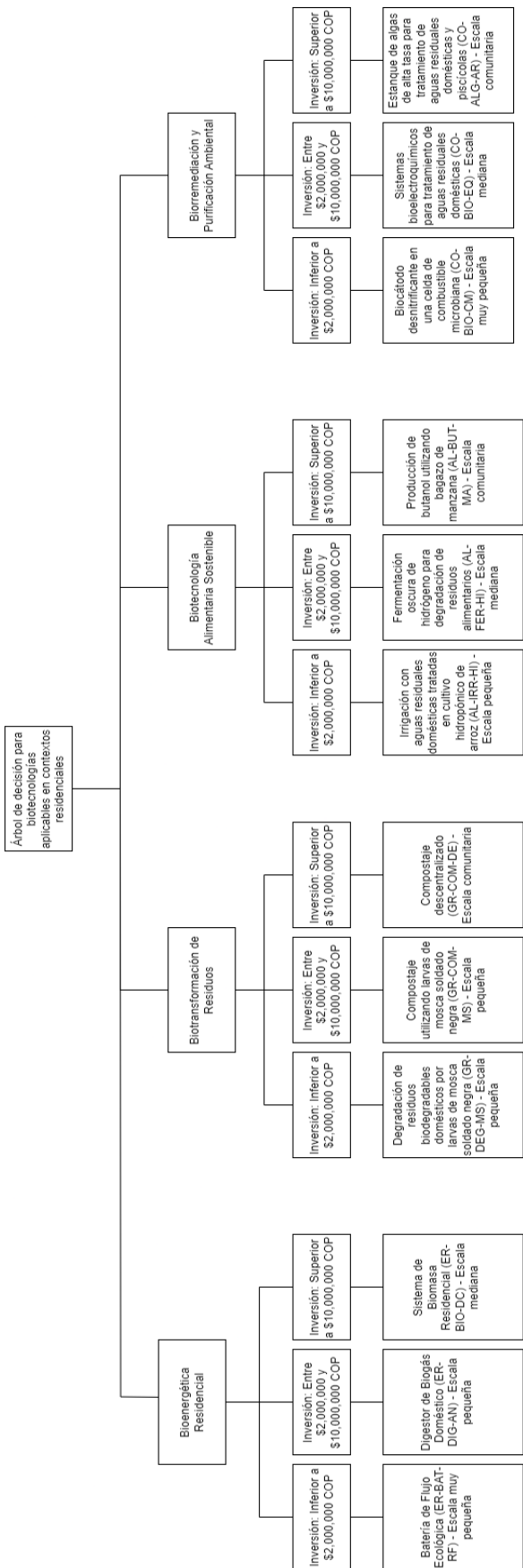
La Figura 6 representa el Árbol de decisión para biotecnologías aplicables en contextos residenciales. Este diagrama jerárquico está diseñado como una herramienta pedagógica para facilitar la toma de decisiones informadas sobre la implementación de biotecnologías en contextos residenciales.

Figura 6.

Árbol de decisión para biotecnologías aplicables en contextos residenciales

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES



ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

La figura 6. se alinea con la teoría de difusión de innovaciones de Rogers (2003) y aborda la "brecha de conocimiento" identificada por Kastner y Stern (2015). Sin embargo, presenta limitaciones como el riesgo de simplificación excesiva señalado por Velasquez y Hester (2013) y la posible omisión de factores contextuales específicos.

Las implicaciones de este modelo incluyen la facilitación de decisiones informadas en sostenibilidad, según lo propuesto por Arvai et al. (2006), la provisión de un marco inicial para análisis más detallados y el potencial para acelerar la adopción de tecnologías sostenibles en entornos residenciales.

Este árbol de decisión constituye una contribución significativa a la intersección entre la toma de decisiones multicriterio y la sostenibilidad residencial haciendo uso de alternativas biotecnológicas. Se ofrece un puente entre la complejidad teórica y la aplicabilidad práctica, proporcionando una herramienta valiosa para investigadores, formuladores de políticas y profesionales del sector. No obstante, para maximizar su eficacia, es imperativo que su implementación se complemente con análisis contextuales rigurosos, asegurando así su adaptabilidad a las diversas realidades socioeconómicas y ambientales de los entornos residenciales.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

5. Conclusiones

- El estudio identifica soluciones biotecnológicas prometedoras para entornos residenciales en cuatro áreas principales: contaminación, alimentos, gestión de residuos y energías renovables. Estas soluciones ofrecen potencial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia en los hogares.

- Los sistemas bioelectroquímicos para el tratamiento de aguas residuales, la fermentación oscura de hidrógeno para el manejo de residuos alimentarios, y los sistemas de digestión anaeróbica a pequeña escala para la generación de bioenergía destacan como las opciones más viables según el análisis AHP realizado.

- La investigación contribuye a cerrar la brecha entre el conocimiento científico y su aplicación práctica en la vida cotidiana, fomentando la apropiación social del conocimiento en biotecnología.

- Aunque existe un alto interés en implementar soluciones biotecnológicas (90.4% dispuestos), la mayoría de los encuestados (85%) solo estaría dispuesta a invertir entre 0-1 SMLV anualmente en estas tecnologías, lo que representa una barrera significativa para su adopción generalizada.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

6. Recomendaciones

La investigación sobre soluciones biotecnológicas en entornos urbanos ha revelado tanto oportunidades como desafíos importantes. Para lograr una comprensión más integral del tema, se recomienda ampliar los estudios futuros aplicando métodos mixtos de investigación con una muestra más diversa. Asimismo, se propone el desarrollo y validación de un instrumento estandarizado que evalúe la disposición de los hogares para adoptar tecnologías biotecnológicas, considerando factores como conocimientos previos, percepciones de riesgo y beneficio, y el contexto socioeconómico. También se recomienda llevar a cabo estudios piloto a pequeña escala de las soluciones más prometedoras identificadas, con el fin de evaluar su viabilidad técnica y aceptación social en condiciones reales. Además, se sugiere utilizar técnicas de modelado y simulación para predecir el impacto a largo plazo de la adopción masiva de estas tecnologías en diferentes escenarios urbanos y rurales. En cuanto a tecnologías emergentes, se sugiere que los esfuerzos de investigación futura se centren en sistemas bioelectroquímicos para el tratamiento de aguas residuales, fermentación oscura para la producción de hidrógeno, y el uso de larvas de mosca soldado negra para la gestión de residuos orgánicos.

Para promover la adopción de estas tecnologías, es fundamental desarrollar programas educativos que sensibilicen a las comunidades, implementar proyectos piloto que evalúen su viabilidad en entornos reales y crear centros comunitarios de recursos que brinden apoyo técnico a los interesados. Además, se recomienda explorar incentivos fiscales que favorezcan su adopción, integrar consideraciones biotecnológicas en los códigos de construcción, y desarrollar un sistema de certificación para hogares "bio-inteligentes".

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Referencias Bibliográficas

11.3: Economía de la Producción de Butanol. (2022, octubre 30). LibreTexts Español; Libretexts.

[https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_alternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_\(Toraman\)/11:_Econom%C3%ADa_de_la_Producci%C3%B3n_de_Biomasa_%E2%80%94Etanol,_butanol_y_Biodiesel/11.03:_Econom%C3%ADa_de_la_Producci%C3%B3n_de_Butanol](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_alternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_(Toraman)/11:_Econom%C3%ADa_de_la_Producci%C3%B3n_de_Biomasa_%E2%80%94Etanol,_butanol_y_Biodiesel/11.03:_Econom%C3%ADa_de_la_Producci%C3%B3n_de_Butanol)

Abdullahi, M., Stead, I., Bennett, S., Orozco, R., Abdallah, M. A.-E., Jabbari, S., Macaskie, L. E., Tzella, A., Krause, S., Al-Duri, B., Lee, R. G., Herbert, B., Thompson, P., Schalkwyk, M., Getahun, S., Dearn, K. D., & Orsini, L. (2023). Harnessing water fleas for water reclamation: A nature-based tertiary wastewater treatment technology. *The Science of the Total Environment*, 905(167224), 167224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167224>

Aelterman, P., Rabaey, K., Clauwaert, P., & Verstraete, W. (2006). Microbial fuel cells for wastewater treatment. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 54(8), 9–15. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.702>

Ajay, C. M., Mohan, S., & Dinesha, P. (2021). Decentralized energy from portable biogas digesters using domestic kitchen waste: A review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 125, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.031>

Al-Mamun, A., Lefebvre, O., Baawain, M. S., & Ng, H. Y. (2016). A sandwiched denitrifying biocathode in a microbial fuel cell for electricity generation and waste minimization. *International Journal of Environmental Science and Technology: IJEST*, 13(4), 1055–1064. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-0943-1>

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Amrul, N. F., Kabir Ahmad, I., Ahmad Basri, N. E., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., & Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565. <https://doi.org/10.3390/su14084565>

Aslam, T., Mirza, S. A., Rashid, A., Javed, M. A., & Campos, L. C. (2023). Efficiency of treated domestic wastewater to irrigate two rice cultivars, PK 386 and Basmati 515, under a hydroponic culture system. *Water*, 15(17), 3149. <https://doi.org/10.3390/w15173149>

Baterías de flujo redox para un futuro verde. (s/f). Cicenergigune.com. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de <https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-flujo-redox-futuro-verde>

Biomasa, B. Energía de la Biomasa. Idae.es. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_digestores_anaerobios_a2007_0d62926d.pdf

Brown, R. K., Harnisch, F., Dockhorn, T., & Schröder, U. (2015). Examining sludge production in bioelectrochemical systems treating domestic wastewater. *Bioresource Technology*, 198, 913–917. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.081>

Buitrago Hurtado, G. (2012). Tres décadas de biotecnología en Colombia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 3–6. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n2/v14n2a01.pdf>

Camacho, R. (2009). Relevancia de la biotecnología en España. *Nota d'Economia*, (95), 87-94. https://economia.gencat.cat/web/.content/70_economia_catalana/arxiu/ne-97-98_e_camacho.pdf

Cavinato, C., Giuliano, A., Bolzonella, D., Pavan, P., & Cecchi, F. (2012). Bio-hythane production from food waste by dark fermentation coupled with anaerobic digestion process: A

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

long-term pilot scale experience. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(15), 11549–11555. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.03.065>

Cultivo de moscas soldado negra. (s/f). Lowtechlab.org. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Elevage_de_Mouches_Soldats_Noirs/es

Deže, D., Mihaljević, M., Kovačić, Đ., Jovičić, D., & Kralik, D. (2020). Natural communities of microalgae and Cyanobacteria from eutrophicated waters as potential co-substrates for small-scale biogas production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 192(3), 1016–1028. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03382-y>

Dillman, D. A., Smyth, J. D., & Christian, L. M. (2014). *Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: The tailored design method* (4th ed.). Wiley.

Enebe, M. C., & Erasmus, M. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345(118585), 118585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>

Garrido, S. G. Presupuesto de planta de biomasa. Renovetec.com. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de <http://energia.renovetec.com/centrales-de-ciclo-combinado/300-presupuesto-de-planta-de-biomasa>

Gaskell, G., Allum, N., & Stares, S. (2019). Public attitudes to biotechnology in Europe: A comparative analysis. *Nature Biotechnology*, 37(5), 542-549. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0121-3>

Han, W., Ye, M., Zhu, A. J., Zhao, H. T., & Li, Y. F. (2015). Batch dark fermentation from enzymatic hydrolyzed food waste for hydrogen production. *Bioresource Technology*, 191, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.120>

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Heredia, G., Orellana, B., Saavedra, O., & Echeverría, I. (2020). Evaluación del costo anual equivalente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los municipios de Cliza y Tolata. *Investigación & Desarrollo*, 19(2), 75–82. <https://doi.org/10.23881/idupbo.019.2-5e>

Hovorukha, V., Havryliuk, O., Gladka, G., Tashyrev, O., Kalinichenko, A., Sporek, M., & Dołhańczuk-Śródka, A. (2021). Hydrogen dark fermentation for degradation of solid and liquid food waste. *Energies*, 14(7), 1831. <https://doi.org/10.3390/en14071831>

Jabornig, S., & Podmirseg, S. M. (2015). A novel fixed fibre biofilm membrane process for on-site greywater reclamation requiring no fouling control. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(3), 484–493. <https://doi.org/10.1002/bit.25449>

Janoschka, T., Martin, N., Martin, U., Friebe, C., Morgenstern, S., Hiller, H., Hager, M. D., & Schubert, U. S. (2015). An aqueous, polymer-based redox-flow battery using non-corrosive, safe, and low-cost materials. *Nature*, 527(7576), 78–81. <https://doi.org/10.1038/nature15746>

Lee, H.-S., Parameswaran, P., & Rittmann, B. E. (2011). Biohydrogen production by fermenting bacterium *Clostridium* sp. in a microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology*, 102(9), 4315–4321. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.106>

Levenspiel, O. (2000). *Ingeniería de las reacciones químicas* (3.^a ed.). Limusa.

Mathys, A., & Bühler, S. (2019). Environmental impacts of an insect-based biorefinery as a solution for global industrial challenges. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 165-173. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>

Montes, G., & García, M. (2008). *Biotecnología aplicada a la agricultura* (2.^a ed.). Ediciones Díaz de Santos.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Muñoz, R., Meier, L., Diaz, I., & Jeison, D. (2015). A review on the state-of-the-art of the anaerobic digestion of organic waste in Latin America. *Bioresource Technology*, 190, 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.043>

Nwogu, T. P., Tiku, D. K., & Sahoo, D. (2021). Optimization of biogas production from food waste in batch and semi-continuous systems. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127957. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127957>

Oh, S.-E., & Logan, B. E. (2005). Hydrogen and electricity production from a food processing wastewater using fermentation and microbial fuel cell technologies. *Water Research*, 39(19), 4673–4682. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.09.019>

Oliveira, M. P., Bernardelli, R., Andrade, L. H., Silva, E., & Aquino, S. F. (2017). Optimization of biohydrogen and methane production by co-digestion of food waste and microalgae biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 9397–9406. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125>

Pant, D., Singh, A., Van Bogaert, G., Irving Olsen, S., Singh Nigam, P., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2011). Bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy production and product recovery from organic wastes and industrial wastewaters. *RSC Advances*, 2(4), 1248–1263. <https://doi.org/10.1039/C1RA00839G>

Papirio, S., & Pirozzi, F. (2018). Review on heavy metal biosorption from aqueous solutions by *Sargassum* spp. biomass. *Journal of Environmental Management*, 218, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.051>

Pazmiño, A., & Quintero, E. (2020). La biotecnología como herramienta para el desarrollo de una agricultura sustentable en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 5-12. <https://doi.org/10.36042/agroecosistemas.v8n1a1>

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Pérez-Rodríguez, L. J., & Morales-Mendoza, L. J. (2019). *Introducción a la biotecnología en México* (1.^a ed.). Editorial Trillas.

Saratale, G. D., Kumar, G., Banu, R., Xia, A., Periyasamy, S., & Saratale, R. G. (2018). A comprehensive review on anaerobic digestion of microalgae and macroalgae and codigestion for biogas and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 262, 319–332. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.001>

Singh, S. P., & Prerna, B. J. (2009). An overview of the recent trends in microbial fuel cells. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6(3), 441–446. <https://doi.org/10.1007/BF03326085>

Soto, M., & Lens, P. N. L. (2015). Sustainability of microalgal biofuels through an integrated biorefinery approach. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(21), 8811–8830. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6844-y>

Sousa, R., & Pereira, R. (2018). Análisis del potencial de la biotecnología en el sector energético. *Energía y Sociedad*, 15(4), 123–136. <https://doi.org/10.1108/15253831211286310>

Suárez, J. J., & Márquez, H. (2019). Aplicación de biodigestores en zonas rurales: Una solución sostenible para el manejo de residuos orgánicos. *Revista Colombiana de Energía*, 10(2), 34–42. <https://doi.org/10.15517/rce.v10i2.37991>

Tanner, R., Kundu, K., & Martin, N. (2019). Advances in biogas production from algal biomass. *Current Biotechnology*, 8(3), 203–217. <https://doi.org/10.2174/2211550108666191127123847>

Tao, H. C., Liang, M., Liao, X., Zhao, Y., & Li, H. (2014). Utilization of high-throughput sequencing to explore the microbial communities of a hydrogen-producing, up-flow anaerobic

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

sludge blanket reactor. *Bioresource Technology*, 159, 19–25.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.109>

Togashi, F., & Tanaka, T. (2013). Recent advances in the microbial synthesis of butanol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(12), 5177–5184. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4858-8>

Wang, H., Zhang, Y., Angelidaki, I., Zhang, Y., Wei, P., & Zhang, H. (2015). Anaerobic digestion of food waste for volatile fatty acid production and co-generation of bioenergy and hydrogen. *Bioresource Technology*, 197, 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.124>

Yan, X., Li, T., Cheng, L., Zou, C., & Xiang, Y. (2018). Recent advances in research on the microbial synthesis of biohydrogen. *Bioengineered*, 9(1), 48–54. <https://doi.org/10.1080/21655979.2018.1438021>

Zhang, C., & Smith, L. D. (2016). Biohydrogen production from food waste: Effect of co-digestion with raw or pretreated biomass. *Biomass and Bioenergy*, 90, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.024>

Zhao, W., Yu, J., Yin, X., & He, D. (2020). Effect of microalgal co-digestion on anaerobic digestion of agricultural waste: A review. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100490. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100490>

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS RESIDENCIALES

Apéndices

Apéndice A. Proceso matemático AHP

Para ofrecer una mayor claridad sobre el proceso matemático desarrollado en el objetivo 3, a continuación, se presenta una representación detallada del mismo. Esta metodología corresponde a lo explicado en secciones anteriores y sirve como apoyo para su comprensión.

Para iniciar, se completó la matriz mediante pares. Para construir la matriz AHP se completo la matriz triangular superior y matriz triangular inferior.

$$\begin{matrix} 1 & a & b \\ c & 1 & d \\ f & g & 1 \end{matrix}$$

En segundo lugar, el vector de prioritario se deriva de una matriz recíproca positiva. Para calcularlo, primero se suman los valores de cada columna de la matriz. Luego, cada entrada se divide por la suma de su columna correspondiente para normalizarla. El resultado es una matriz normalizada donde la suma de cada columna es 1. Este proceso genera el vector prioritario, que representa las prioridades relativas de los elementos comparados en la matriz original.

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$X_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\begin{matrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{matrix}$$

El peso, se obtiene promediando los valores a través de las filas de la matriz normalizada. Este método aproxima el vector propio principal calculando la media aritmética de todos los criterios en cada fila. El resultado es un vector que representa los pesos relativos de los elementos comparados en la matriz original.

RESIDENCIALES

$$W_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} = \frac{W_{11}}{W_{12}} = \frac{W_{12}}{W_{13}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Para verificar la consistencia de la matriz, se calcula el Índice de Consistencia (CI) y la Razón de Consistencia (RC). Estos índices se basan en el valor propio principal, que se obtiene sumando los productos de cada elemento del vector propio por la suma de las columnas correspondientes en la matriz recíproca. Este cálculo permite evaluar la coherencia de las comparaciones realizadas en la matriz original.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} * w_j}{w_i} \right\} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Por último, se evalúa mediante la Razón de Consistencia (CR) de la matriz de comparación por pares. Esta razón se calcula dividiendo el Índice de Consistencia (CI) por el Índice Aleatorio (RI). Según Saaty (2002), si el valor de RC supera 0,1, la matriz no se considera consistente y es necesario revisar y rehacer las comparaciones por pares para mejorar la coherencia de los juicios.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Ec. 5})$$

Apéndice B

La Tabla B1 presenta los resultados de la comparación pareada de criterios, correspondiente al segundo paso de la metodología AHP. Esta matriz muestra las valoraciones relativas asignadas a cada par de criterios, utilizando la escala de nueve puntos previamente descrita. Los valores en la diagonal principal son 1, indicando la comparación de un criterio consigo mismo.

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO EN CONTEXTOS

RESIDENCIALES

Tabla B1.

Matriz de comparación de criterios.

PESOS	T1	T2	T3	T4	E1	E2	E3	E4
T1	1,00	2,00	3,00	4,00	3,00	2,00	0,50	1,00
T2	0,50	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,50
T3	0,33	0,50	1,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,33
T4	0,25	0,33	0,50	1,00	0,50	0,33	0,20	0,25
E1	0,33	0,50	1,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,33
E2	0,50	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00	0,33	0,50
E3	2,00	3,00	4,00	5,00	4,00	3,00	1,00	2,00
E4	1,00	2,00	3,00	4,00	3,00	2,00	0,50	1,00

Apéndice C

En la Tabla se presenta la matriz de comparación por pares de las tecnologías del área energías renovables, de acuerdo con el criterio técnico de eficiencia. Esta matriz se elaboró siguiendo el paso 4 de la metodología establecida, permitiendo una evaluación cuantitativa relativa entre las alternativas consideradas en este estudio. El mismo proceso y procesos posteriores se aplicarán de manera análoga en las áreas de alimentos, contaminación y gestión de residuos.

Tabla C1

Matriz de Comparación de Eficiencia para Tecnologías de Energía Renovable

	ER-BIO-DC	ER-BAT-RF	ER-DIG-AN	ER-BIO-MA
ER-BIO-DC	1,00	3,00	0,50	2,00
ER-BAT-RF	0,33	1,00	0,25	0,50
ER-DIG-AN	2,00	4,00	1,00	3,00
ER-BIO-MA	0,50	2,00	0,33	1,00
SUMA	3,83	10,00	2,08	6,50

Los apéndices del desarrollo matemático de las matrices se encuentran adjuntos y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.