



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBILIDAD

**Autor:** Paula Almagro Rodríguez

**Directores:** Marta Revuelta Aramburu

Carlos Morales Polo

**Coordinador:** José Ignacio Linares Hurtado

Madrid, 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE  
CONSTRUCCIÓN: ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBILIDAD  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de  
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Paula Almagro Rodríguez Fecha: 21/ 07/ 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Marta Revuelta Aramburu      Fecha: 21/ 07/ 2023  
Carlos Morales Polo



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBILIDAD

**Autor:** Paula Almagro Rodríguez

**Directores:** Marta Revuelta Aramburu

Carlos Morales Polo

**Coordinador:** José Ignacio Linares Hurtado

Madrid, 2023

## RESUMEN

Este trabajo se centra en el estudio de viabilidad para utilizar el digestato, un subproducto de las plantas de biogás a partir de los residuos agroalimentarios de varios mercados de abastecimiento de España, como sustituto en la fabricación de ladrillos. Se ha realizado un estudio ambiental utilizando la metodología de la ecoauditoría para comparar los impactos ambientales de ambos procesos y determinar su viabilidad.

El análisis de los resultados revela que la fase de extracción de la arcilla y el tratamiento del digestato para su uso como materia prima son los puntos críticos de estudio y dónde se permite observar las sinergias y diferencias de ambos procesos.

Sin embargo, utilizar el digestato en la industria ladrillera ofrece un gran potencial al disminuir significativamente los impactos ambientales en estas etapas iniciales. Al aprovechar el digestato, se logra una eficaz mitigación de estos efectos perjudiciales.

Además, esta solución permite revalorizar el digestato, lo cual no solo amplía su utilidad, sino que también ofrece ventajas económicas al reducir la dependencia de la arcilla. Es importante destacar que su integración no requiere cambios significativos en el proceso de fabricación de ladrillos, lo que facilita su implementación sin alterar el sistema de producción existente.

La reutilización del digestato no solo aporta beneficios ambientales y económicos, sino que también se alinea con los procesos industriales establecidos. Contribuye a la economía circular al reciclar este material y fomentar una economía más sostenible y resiliente.

Por lo tanto, el uso del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos es una opción viable desde el punto de vista ambiental, económico e industrial. Los resultados de la ecoauditoría respaldan esta conclusión al mostrar una disminución significativa de los impactos ambientales en comparación con el proceso tradicional de extracción de

arcilla. La reutilización del digestato permite mitigar los efectos perjudiciales de la extracción de materias primas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y promoviendo una economía circular.

**Palabras clave:** digestato, ecoauditoría, impacto ambiental, economía circular, ladrillo de construcción, revalorización.

## ABSTRACT

This project focuses on the feasibility study of utilizing digestate, a byproduct of biogas plants from agri-food waste in various markets in Spain, as a substitute in brick manufacturing. An environmental study has been conducted using the eco-audit methodology to compare the environmental impacts of both processes and determine their viability.

The analysis of the results reveals that the extraction phase of clay and the treatment of digestate as a raw material are the critical points of study where the synergies and differences between both processes can be observed.

However, using digestate in the brick industry offers great potential by significantly reducing the environmental impacts in these initial stages. By harnessing digestate, an effective mitigation of these harmful effects is achieved.

Furthermore, this solution allows for the valorization of digestate, which not only expands its utility but also provides economic advantages by reducing dependence on clay. Importantly, its integration does not require significant changes to the brick manufacturing process, making implementation easy without altering the existing production system.

The reuse of digestate not only brings environmental and economic benefits but also aligns with established industrial processes. It contributes to the circular economy by recycling this material and fostering a more sustainable and resilient economy.

Therefore, the use of digestate as a substitute in brick manufacturing is a viable option from an environmental, economic, and industrial standpoint. The results of the eco-audit support this conclusion by demonstrating a significant reduction in environmental impacts compared to the traditional clay extraction process. The reuse of digestate helps

mitigate the detrimental effects of raw material extraction, aligning with sustainable development goals and promoting a circular economy.

**Keywords:** digestate, eco-audit, environmental impact, circular economy, construction brick, valorization.

## ACRÓNIMOS

- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **DA:** Digestión anaerobia
- **COVs:** Compuestos Orgánicos Volátiles
- **UE:** Unión Europea
- **CE:** Comunidad Europea
- **CEE:** Comunidad Económica Europea
- **TIR:** Tasa Interna de Retorno
- **VAN:** Valor Actual Neto
- **ROI:** Retorno de la Inversión

## Tabla de contenido:

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>17</b>
2.1. Usos del digestato .....	17
2.2. Impactos ambientales del sector de la construcción .....	19
2.3. Materiales de construcción sostenibles .....	20
2.4. Legislación relativa al digestato .....	22
2.5. Proceso de fabricación del ladrillo. ....	25
2.6. Tratamiento del digestato. Digestato como materia prima .....	28
2.7. Extracción de la arcilla. Arcilla como materia prima .....	30
<b>CAPÍTULO 3. ECOAUDITORÍA</b> .....	<b>32</b>
3.1. Definición de ecoauditoría .....	32
3.2. Importancia de la ecoauditoría .....	34
3.3. Objetivos de la ecoauditoría .....	35
3.4. Principios de la ecoauditoría .....	36
3.5. Límites de estudio .....	37
3.6. Estudio de los impactos.....	39
3.6.1. Identificación de impactos .....	39

3.6.2.	Metodología de evaluación.....	51
3.6.3.	Resultados de los impactos .....	54
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTES.....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO 6.</b>	<b>ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO 7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>88</b>

## Lista de figuras:

Figura 1 – Composición del digestato (Milner García, 2021). .....	18
Figura 2. Proceso de fabricación del ladrillo. ....	26
Figura 3. Tratamiento del digestato. ....	29
Figura 4. Extracción de la arcilla. ....	31
Figura 5. Límites del sistema para la fabricación del ladrillo a partir del digestato. ....	37
Figura 6. Límites de estudio para la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla. ....	38
Figura 7. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de extracción y preparación de la arcilla. ....	42
Figura 8. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de fabricación del ladrillo a partir de la arcilla. ....	43
Figura 9. Impacto y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del tratamiento del digestato. ....	46
Figura 10. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de fabricación del ladrillo a partir del digestato. ....	48
Figura 11. Comparación y análisis de los costes del uso de ambas materias primas en la fabricación del ladrillo. ....	75
Figura 12. Flujos de caja del estudio financiero del uso de digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos. ....	78

## Lista de tablas:

Tabla 1. Identificación de aspectos e impactos ambientales en la extracción y preparación de la arcilla y la fabricación del ladrillo a partir de la misma. ....	46
Tabla 2. Identificación de aspectos e impactos ambientales en el tratamiento del digestato y la fabricación del ladrillo a partir del mismo. ....	50
Tabla 3. Terminología de evaluación de los impactos. (Gómez Orea, 1988) .....	52
Tabla 4. Código de colores y letras para la identificación de los impactos. ....	54
Tabla 5. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla. ....	59
Tabla 6. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir del digestato. ....	62
Tabla 7. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla relevantes en el estudio. ....	66
Tabla 8. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir del digestato relevantes en el estudio. ....	67
Tabla 9. Número de impactos según el nivel de gravedad.....	68
Tabla 10. Número de impactos según el nivel de gravedad en etapas críticas en la fabricación de ladrillos a partir de arcilla. ....	69
Tabla 11. Número de impactos según el nivel de gravedad en etapas críticas en la fabricación de ladrillos a partir de arcilla. ....	69
Tabla 12. Estudio financiero del uso del digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos.....	77

Tabla 13. Análisis financiero del uso del digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos.....79

## Lista de ecuaciones:

Ecuación 1. Cálculo de la incidencia típica de los impactos. ....	52
Ecuación 2. Cálculo de la incidencia estandarizada. ....	53



## Capítulo 1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Existe una creciente conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en diferentes ámbitos, especialmente en la industria de construcción, con el fin de mitigar los efectos negativos que la actividad humana tiene sobre la naturaleza. Se estima que el sector de la construcción es responsable del consumo de entre un 20 y un 50% de los recursos naturales y la generación del 30% de los residuos sólidos. Además, la edificación supone alrededor del 37% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera (Enshassi et al., 2014a; Naciones Unidas, 2022).

La economía circular se ha convertido en una alternativa eficiente para reducir el impacto ambiental de la construcción. Esta propuesta trata de minimizar el consumo de materias primas y reducir la generación de residuos, promoviendo así la reutilización, el reciclaje y la valorización de los materiales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es mejorar la economía circular en el ámbito de los materiales de construcción, lo que permitirá al sector ser más competitivo y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Este proyecto se centrará en analizar el uso del digestato, un material procedente de la digestión anaeróbica de residuos de la industria agroalimentaria, para producir biomasa que se utilizará como materia prima en la fabricación de materiales de construcción. De esta manera, se revalorizará este residuo y se integrará la economía circular en una industria que ha sido muy criticada por su gran impacto ambiental.

En este contexto, el uso del digestato como material de construcción se ha convertido en una opción prometedora. Actualmente el digestato es utilizado como fertilizante en la agricultura. Sin embargo, su uso en la fabricación de materiales de construcción puede proporcionar una alternativa sostenible a los materiales convencionales, como el cemento, que son altamente contaminantes.

El digestato se puede utilizar como materia prima o como aditivo en la fabricación de diferentes tipos de materiales de construcción, como ladrillos, bloques, paneles y morteros. Además, el uso de digestato en la fabricación de materiales de construcción puede contribuir a la reducción de residuos y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Del mismo modo, se persigue dar un uso a dicho residuo de la digestión anaeróbica, revalorizándolo y apoyando la economía circular.

Por todos estos motivos, es necesario plantearnos nuevas tecnologías y materiales mucho más respetuosos con el medio ambiente y el uso de digestato en la construcción es una solución prometedora que puede contribuir a hacer que la construcción sea más competitiva y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para poder cuantificar todo ello, se realizará una ecoauditoría del digestato en su aplicación como material de construcción para poder evaluar el impacto ambiental de la utilización de este subproducto en la construcción y compararlo con los usos que se le están dando actualmente.

Con el fin de evaluar el método y extraer conclusiones del mismo, los objetivos de este proyecto son los siguientes:

1. **Análisis bibliográfico** para poder identificar y revisar estudios e investigaciones relevantes en relación con los materiales de la construcción y a la utilización del digestato como uno de ellos. De este modo poder tener una comprensión completa sobre el sector e identificar posibles puntos de mejora.
2. **Identificar los impactos ambientales directos e indirectos** del uso del digestato en la fabricación de materiales de construcción.
3. **Comparación de los resultados** obtenidos con los impactos ambientales de la **fabricación del ladrillo** convencional, es decir, a partir de **arcilla**.
4. Identificar los procesos y tecnologías necesarias y evaluar su **viabilidad técnica y económica**.

5. **Interpretación de los resultados obtenidos**, y comparación con resultados de otras tecnologías u otros usos del digestato.
6. **Análisis del nivel de inclusión del digestato en la economía circular.**

## Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. USOS DEL DIGESTATO

Hoy en día, se está apostando por la obtención de energía en forma de biomasa a partir de la digestión anaerobia de distintos residuos. De esta forma se crea un impacto positivo a nivel ambiental, pero también a nivel económico.

La digestión anaerobia (DA) es un proceso que puede ser controlado y optimizado para una mayor producción de metano para su uso como energía renovable. El biogás producido se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) en una proporción de entre el 45-75%, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en una proporción de entre el 25-55% y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). El material restante después de la digestión es llamado digestato y constituye alrededor del 90-95% de los materiales de entrada en el proceso. Es un subproducto rico en nutrientes (Lamolinará et al., 2022).

El problema principal es la generación de material residual a lo largo del proceso, el digestato. La gestión de este residuo es un gran desafío ya que, por una parte, este puede contaminar el ecosistema por la presencia de nitratos, y por otro, el transporte del mismo tiene unos altos costes logísticos debido a que un porcentaje muy alto de su contenido (90%) es agua (Milner García, 2021).

Hasta día de hoy, casi todas las líneas de investigación han estado enfocadas a la utilización de este subproducto como fertilizante en la agricultura debido a su alta presencia de nutrientes, posee un alto contenido en amonio ( $\text{N-NH}_4$ ), fósforo (P) y potasio (K), así como gran contenido en materia orgánica (Milner García, 2021). El contenido de estos varía dependiendo de la materia prima utilizada en la digestión anaeróbica. Además, constituye una de las alternativas más simples en términos de gestión para prevenir o reducir los efectos adversos sobre el medio ambiente.

Asimismo, el uso del digestato como fertilizantes tiene una gran ventaja, la reducción del uso de los fertilizantes minerales. Esto conlleva a sumar más efectos positivos a este estudio, ya que se reduce el consumo de los combustibles fósiles y los recursos minerales, mitigando de este modo el cambio climático y conservando la calidad del suelo.

Parámetro	Diversos sustratos orgánicos <sup>a</sup>	FORM <sup>b</sup>	Purines <sup>c</sup>			FORM <sup>d</sup>
			PC	PV	PC+PV	
MS (%)	4,8	14,2	3,0	7,4	4,9	3,9
pH	8,1	8,2	8,0	8,0	7,8	-
Sales (g/l MF)	19,8	-	-	-	-	-
MO (%)	60,7	44,8	-	-	-	64,4
C/N	3,7	10,2	-	-	-	-
N (g/kg MF)	6,1	3,0	4,0	3,9	4,2	5,4
N-NH <sub>4</sub> (g/kg MF)	-	1,6	3,0	1,5	2,2	3,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg MF)	1,7	1,8	2,0	1,4	1,9	1,1
K <sub>2</sub> O (g/kg MF)	2,1	4,5	-	5,1	3,3	1,7
CaO (g/kg MF)	-	7,3	-	-	-	-
MgO (g/kg MF)	0,2	2,3	-	-	-	-

n=número de muestras. FORM: fracción orgánica de residuos municipales, MS: materia seca, MO: materia orgánica, N: nitrógeno total y MF: materia fresca.

<sup>a</sup>Siebert y col. (2008): muestras de digeridos (n=167) producidos en plantas alemanas; <sup>b</sup>Edelmann y col. (2004): n=13; <sup>c</sup>Chadwick (2007) y Smith y col. (2007): cerdo (PC, n=1), vacuno (PV, n=28) y mezcla (n=6), y <sup>d</sup>Palm (2008): n=7.

Figura 1 – Composición del digestato (Milner García, 2021).

Por otro lado, la aplicación del digestato como fertilizante presenta un problema en cuanto a su manejo, ya que este se produce de manera constante durante todo el año, pero no puede ser utilizado como abono hasta el periodo vegetativo. Por esta razón, es necesario almacenarlo. La duración de este periodo de almacenamiento varía en función de factores como la ubicación geográfica, el tipo de suelo, las precipitaciones invernales, la rotación de cultivos y las regulaciones nacionales relativas a la aplicación de digestato/estiércol. Al igual que sucede con el estiércol, la acumulación de digestato en depósitos abiertos puede generar la emisión de gases como amoníaco y metano (Clare T LUKEHURST et al., 2010).

## **2.2. *IMPACTOS AMBIENTALES DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN***

La construcción es una industria fundamental para la economía del planeta, sin embargo, también constituye uno de los mayores problemas ambientales. La edificación de viviendas y otras obras de infraestructura requiere un gran número de recursos naturales, energía, agua y, genera una cantidad de contaminación y gases de efecto invernadero. Estas consecuencias ambientales pueden poseer efectos perjudiciales en el ecosistema, la diversidad y la calidad de vida de los seres humanos.

Los principales efectos nocivos de este sector incluyen el agotamiento de los recursos, la pérdida de biodiversidad debido a la extracción de materias primas, la generación de desechos y la contaminación del aire y el agua. Además de estos impactos, también se producen consecuencias adversas para la salud humana por la generación de ruido y polvo, emisiones tóxicas, malos olores y la contribución al cambio climático (Enshassi et al., 2014b).

En cuanto a la extracción de materias primas, también supone un gran impacto negativo no solo por el consumo masivo de los recursos naturales, sino también por la generación de contaminantes y la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. Del mismo modo, las comunidades próximas a las obras pueden experimentar efectos perjudiciales debido a la exposición al polvo, vibraciones y ruido, lo que puede llegar a afectar a la salud de las personas (Enshassi et al., 2014b).

Con el fin de intentar disuadir o disminuir la magnitud de estos impactos, se han implementado diversas tácticas como la aislación térmica, una mejor disposición de los edificios o una mayor eficiencia de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Lawrence, 2015).

### **2.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLES**

La industrialización del sector apoyó el uso de tecnologías más eficientes en términos económicos, como los ladrillos, el hormigón y el acero producidos en masa. Estos materiales son de bajo costo y requieren un nivel de habilidad bajo para convertirlos en edificios. Sin embargo, todos ellos tienen en común un elevado costo energético en áreas como la extracción, transformación o transporte. Además, estos materiales provienen de recursos finitos, lo que supone que una vez que la materia prima es extraída y transformada, desaparece para siempre (Lawrence, 2015).

Por lo tanto, en esta línea de estudio los materiales utilizados en este sector juegan un papel muy importante.

Un material de construcción sostenible corresponde a un elemento para el cual su fabricación, colocación y mantenimiento, se han realizado de una manera respetuosa con el medio ambiente y con bajo impacto medioambiental.

En la actualidad, las alternativas a los materiales convencionales que se están utilizando para poder llevar una edificación sostenible son materias convencionales, como lo son la madera, el barro cocido, fibras de celulosa de papel reciclado y pinturas naturales.

Es por ello por lo que, poder introducir la economía circular daría un gran empuje a este sector a alcanzar los objetivos de construcción sostenible.

Una de las líneas de investigación en este sentido es la utilización de materiales renovables y reutilizables. Los materiales reciclados pueden considerarse más eficientes energéticamente ya que la energía inicial utilizada en su producción ha sido contabilizada en su uso original, y sólo la energía adicional necesaria para la recolección, el reciclaje y su transformación se incorpora al nuevo producto. Aunque muchos de estos materiales reciclados provienen de recursos finitos no renovables, como el acero, otros materiales no renovables se originan de fuentes abundantes, como el cemento producido a partir de piedra caliza o arena. Sin embargo, la energía requerida para la

obtención y fabricación de estos productos puede hacer que los materiales verdaderamente renovables sean más deseables.

En la construcción, los materiales renovables viables son aquellos que se pueden renovar de manera sostenible en lapsos de tiempo relativamente cortos. Se trata principalmente de materiales biológicos procedentes de plantas y animales que se pueden cosechar y regenerar en años o décadas en lugar de siglos o periodos más largos. La energía incorporada en la creación de la materia prima es principalmente energía solar a través de la fotosíntesis, que, en el caso de los materiales animales se convierte mediante digestión de materia vegetal fotosintetizada en materiales de origen animales, como la lana y el pelo (Lawrence, 2015).

## 2.4. LEGISLACIÓN RELATIVA AL DIGESTATO

- El Reglamento Delegado (UE) 2022/1519 de la Comisión, de 5 de mayo de 2022, modifica el Reglamento (UE) 2019/1009 con respecto a los requisitos para los productos fertilizantes de la UE que contienen compuestos inhibidores y el postratamiento del digestato. La actualización busca facilitar el acceso al mercado de productos fertilizantes eficientes y seguros. Se introducen reglas para el postratamiento del digestato después de la digestión, incluyendo la separación mecánica en fracciones sólidas y líquidas, y se permiten otros procesos postdigestión para la extracción de agua del digestato y la recuperación de nutrientes (*Reglamento Delegado (UE) 2022/1519 de la Comisión de 5 de mayo de 2022 por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos aplicables a los productos fertilizantes UE que contienen compuestos inhibidores y al postratamiento del digestato.*, s. f.).
- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018, sobre residuos. El propósito es proporcionar un conjunto de normativas legales para el procesamiento de residuos en la Unión Europea (UE). Esta directiva está diseñada para proteger la salud humana y el medio ambiente, destacando la relevancia de aplicar métodos correctos en la gestión, recuperación y reciclaje de residuos para minimizar la tensión sobre los recursos y optimizar su uso. Además, también incluye el concepto de "subproducto", que puede aplicarse al digestato bajo ciertas condiciones (*DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos*, s. f.).

- Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano. Este reglamento busca asegurar la protección de la cadena alimentaria y animal a través de la implementación de medidas de control en la recolección, transporte, transformación, uso y eliminación de subproductos animales, incluyendo los residuos procedentes de animales (*REGLAMENTO (CE) No 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales)*, s. f.).
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Esta ley busca prevenir y reducir la generación de residuos, así como mitigar los impactos negativos asociados a su producción y gestión. Además, tiene como propósito disminuir el impacto global del uso de recursos y mejorar la eficiencia en su utilización. Todo esto se realiza con el fin último de proteger el medio ambiente y la salud humana, mientras se fomenta la transición hacia una economía circular. Esta transición no solo busca garantizar el buen funcionamiento del mercado interno, sino también asegurar la competitividad a largo plazo de España (*Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.*, s. f.).
- Directiva 91/676/CEE que limita la cantidad de nitratos de origen agrícola que pueden ser aplicados al suelo (*Directiva del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.*, s. f.).

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, que define normas para proteger las aguas superficiales y subterráneas de la contaminación (*Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas., s. f.*).
- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), puede aplicarse a las instalaciones de digestión anaerobia que producen digestato (*DIRECTIVA 2010/75/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), s. f.*).

## **2.5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO.**

Con el fin de estudiar los impactos producidos en la fabricación de un material de construcción, se va a realizar el análisis de la fabricación de un elemento tradicional, como es el ladrillo cerámico.

Posteriormente, se comparará con el uso de digestato como materia prima en la fabricación de ladrillo y se evaluará la viabilidad de utilizarlo como sustituto de este método convencional, comparando los impactos ambientales producidos por ambas metodologías.

Para ello, se va a explicar brevemente como es el proceso de fabricación del ladrillo que cuenta con las siguientes etapas (Muñoz, 2016; Páliz Hidalgo, 2015; *Proceso de Fabricación del ladrillo - Bloques Cando*, s. f.) :

1. **Selección de la materia prima.** En este primer paso se recepciona la materia prima a utilizar. En la fabricación del ladrillo tradicional esta etapa comienza desde la extracción de la arcilla o la arena y el transporte de esta hasta la planta. En el caso de este proyecto, la arcilla será sustituida por el digestato proveniente de la planta de biogás.
2. **Mezclado.** La pasta proveniente de la materia prima se mezcla para darle uniformidad y alcanzar un nivel homogéneo en cuanto a sus características físicas y químicas.
3. **Moldeado.** Este paso del proceso productivo se basa en la extrusión de la pasta por medio de una boquilla para dar la forma deseada. La operación se lleva a cabo a altas temperaturas, gracias al uso de vapor saturado a una temperatura aproximada de 130 °C y a baja presión. Esta etapa tiene como objetivo la obtención de una humedad homogénea en el material y una mayor compacidad de la masa.
4. **Secado.** Esta es una de las etapas más críticas del proceso ya que, de su correcta ejecución, dependerá en gran medida el resultado final y la calidad del ladrillo.

La finalidad de esta es eliminar el agua en exceso para poder de este modo proceder a la fase de cocción.

5. **Cocción.** Se lleva a cabo en túneles de cocción con una temperatura que oscila entre los 900 y los 1000 °C. La temperatura en el interior del horno varía de forma continua y uniforme. Durante esta fase se produce la sinterización, que es el proceso de consolidación y densificación del material, y es este proceso el que determina la resistencia del ladrillo.
6. **Almacenaje.** Se procede al embalaje del material en paquetes sobre pallets para facilitar su almacenamiento y transporte de una forma sencilla y segura.



Figura 2. Proceso de fabricación del ladrillo.

Este procedimiento se aplica tanto para el uso del digestato como materia prima, como en el método tradicional de fabricación del ladrillo a partir de la arcilla. A continuación, se van a explicar las etapas previas a este proceso común, resaltando las diferencias entre ambas técnicas. De este modo, será posible identificar de forma más clara los impactos ambientales asociados a cada uno de estos dos métodos ya que estas etapas van a ser las diferenciadoras entre ambas metodologías y las que nos darán una visión crítica de los impactos de cada una.

## 2.6. TRATAMIENTO DEL DIGESTATO. DIGESTATO COMO MATERIA PRIMA

El digestato, como ya se ha explicado anteriormente, es un residuo de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos en la producción de biogás. En este caso, estos materiales orgánicos son residuos agroalimentarios de los mercados de abastecimiento.

Los Mercados de Abastecimiento en España que tienen la responsabilidad de administrar las instalaciones, infraestructuras y los servicios indispensables para que los comerciantes mayoristas y minoristas puedan llevar a cabo sus transacciones comerciales de manera efectiva (*MercaMurcia: Distribución Logística Alimentaria*, s. f.).

El digestato se compone de material digerido y masa microbiana (Milner García, 2021).

El proceso de acondicionamiento y estabilización del digestato para poder ser utilizado como materia prima consta de las siguientes etapas:

- 1. Pasteurización del digestato.** Para que el digestato pueda ser utilizado como materia prima, debe de estar libre de productos químicos y de agentes nocivos para evitar la propagación de patógenos. Para ello, se lleva a cabo una pasteurización del digestato. La pasteurización es un proceso físico que consiste en mantener, en este caso el digestato, a una temperatura medianamente elevada durante un periodo de tiempo y enfriándolo después rápidamente. Esto permite disminuir sustancialmente los microorganismos sin alterar la composición y las características del digestato. Con el fin de mejorar la eficiencia energética en esta etapa, el calor residual procedente de la planta de biogás es aprovechado para calentar el digestato (*Biofertilizantes de calidad a partir del digestato - Genia Bioenergy*, s. f.; *Los planes europeos para el biogás deben incluir el digestato - Reciclaje y gestión de residuos*, s. f.).
- 2. Deshidratación y secado.** A continuación, se extrae del digestato la mayor cantidad de agua posible. Para lograrlo se pueden llevar a cabo diferentes métodos tales como la filtración, centrifugación o prensado. La deshidratación y el secado del digestato permite minimizar su peso y volumen, facilitando su

posterior manejo. Además, de reducir la posibilidad de degradación biológica y minimizar los olores, ya que esto puede ser un problema al trabajar con digestato.

- 3. Molienda.** Para utilizar el digestato como sustitutivo de la arcilla en la fabricación de ladrillos, este debe de tener una textura y granulometría similares a la de este material. Este paso asegura que el digestato pueda mezclarse de manera uniforme y pueda ser moldeado de manera efectiva en ladrillos.
- 4. Transporte.** Por último, el digestato estabilizado y deshidratado es transportado a la planta de fabricación de ladrillos.



Figura 3. Tratamiento del digestato.

## **2.7. EXTRACCIÓN DE LA ARCILLA. ARCILLA COMO MATERIA PRIMA**

En el método tradicional de la fabricación de ladrillos, es la arcilla la que toma protagonismo siendo esta la materia prima en este proceso.

Una de las etapas más contaminantes en la construcción radica precisamente en la extracción de las materias primas. Es por ello por lo que es relevante desglosar las diversas fases que componen la extracción y preparación de la arcilla para su uso en la planta de fabricación de ladrillos. Este análisis nos permitirá observar e identificar sus impactos de manera más precisa, facilitando además la comparación directa con el uso del digestato como sustitutivo o alternativa a este proceso.

Las etapas que lo componen son (*Proceso de Fabricación del ladrillo - Bloques Cando*, s. f.):

1. **Extracción de la materia prima y transporte.** Se extrae y se transporta la materia prima, en este caso la arcilla, desde las canteras hasta las plantas de producción.
2. **Maduración.** Previo a incluir la arcilla en el proceso productivo es necesario someterla a una serie de tratamientos para triturarla, homogeneizarla y exponerla a condiciones ambientales. La finalidad de todo esto es obtener una arcilla con una consistencia adecuada y una uniformidad en cuanto a sus propiedades tanto físicas como químicas.
3. **Tratamiento mecánico.** En esta fase se realizan una serie de procesos para purificar y refinar la arcilla. Se hace pasar por unos filtros para disminuir el tamaño de los terrones, posteriormente se trituran los terrones más grandes, compactos y duros y, por último, se hace pasar por un laminador refinador.



*Figura 4. Extracción de la arcilla.*

## Capítulo 3. ECOAUDITORÍA

### 3.1. DEFINICIÓN DE ECOAUDITORÍA

*“Herramienta de control ambiental para la identificación de los puntos críticos ambientales y la cooperación con las empresas para la adopción de medidas que mejoren su ecoeficiencia, incluida la minimización en la generación de residuos, así como aquellas otras que contribuyan a disminuir los riesgos ambientales. Asimismo, servirá para verificar los datos suministrados por las empresas tanto en el documento de autodiagnóstico como en la declaración de ecoeficiencia (o declaración de sostenibilidad).” - (Definición de auditoría ambiental - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE, s. f.).*

Por lo tanto, podemos decir que la ecoauditoría, o también conocida como auditoría ambiental, es un proceso de evaluación sistemático, documentado, periódico y objetivo de cómo funcionan las actividades, los sistemas y los procesos de una organización en relación con el medio ambiente. El propósito de este tipo de auditoría es determinar si las prácticas de una organización cumplen con las políticas y regulaciones ambientales, identificar formas de minimizar los impactos ambientales y mejorar el rendimiento ambiental de una organización (*III Jornadas de Educación Ambiental, s. f.*).

En el contexto de este proyecto, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva utilizando la ecoauditoría como la principal metodología para analizar y contrastar los impactos ambientales asociados a los dos procesos de producción de ladrillos, uno basado en la arcilla y otro que emplea el digestato como sustituto del método convencional. Es importante tener en cuenta que durante este estudio se explorará el uso del digestato como una alternativa a la arcilla, aunque presenten diferencias en las propiedades mecánicas de los ladrillos obtenidos. En caso de buscar propiedades similares a las del ladrillo cerámico convencional, sería necesario reforzar el material utilizando otros elementos o componentes adicionales.

Esta metodología permitirá comparar ambos procesos desde una perspectiva medioambiental, destacando las diferencias y similitudes. De este modo, la ecoauditoría permitirá estudiar la viabilidad de la producción de ladrillos utilizando digestato, promoviendo una alternativa de producción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

### **3.2. IMPORTANCIA DE LA ECOAUDITORÍA**

La ecoauditoría permite evaluar e identificar áreas de mejora en procesos de fabricación, aplicación de materiales o en una organización o empresa. El desarrollo de una ecoauditoría permite (*Qué es una auditoría ambiental | SafetyCulture, s. f.*):

1. Mejora del desempeño ambiental. La ecoauditoría permite a las organizaciones identificar y evaluar los impactos ambientales de sus actividades, procesos y productos, y establecer medidas para minimizar su impacto ambiental.
2. Identificación de áreas de mejora en la eficiencia energética, en la gestión de residuos o, como en este caso, la sustitución de materias primas por otras más eficiente en términos de responsabilidad ambiental.
3. Cumplimiento regulatorio. Permite evaluar y cerciorar el cumplimiento de normativas y regulaciones ambientales.

### **3.3. OBJETIVOS DE LA ECOAUDITORÍA**

1. Identificar los objetivos y alcances de la ecoauditoría. El objetivo es evaluar el impacto ambiental del uso de digestato en la fabricación de ladrillos y su posible sustitución de la arena.
2. Realizar una evaluación del uso de materiales en la fabricación de ladrillos, identificando los recursos naturales utilizados en la producción, tales como la arena y los componentes del digestato, y los recursos energéticos necesarios para la producción de ladrillos.
3. Evaluar el impacto ambiental del uso de digestato en la fabricación de ladrillos, comparándolo con la producción de ladrillos con arena. Esto incluye la evaluación del consumo de recursos naturales, energía y emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.
4. Identificar oportunidades de mejora en la producción de ladrillos con digestato, incluyendo posibles mejoras en la eficiencia energética, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la minimización de los residuos generados.

### **3.4. PRINCIPIOS DE LA ECOAUDITORÍA**

La auditoría ambiental es un tipo de estudio que calcula los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de todo el proceso de producción un producto o de una actividad. Permite por tanto conocer dónde están las etapas o elementos más críticos y así poner foco en ellos y buscar soluciones alternativas. Es por ello por lo que se va a realizar una ecoauditoría, para valorar la viabilidad de la utilización de digestato como materia prima en el sector de la construcción, más específicamente, como sustituto a la arena o arcilla en la producción de ladrillos.

Para llevar a cabo este estudio se van a estudiar los siguientes puntos en el proceso de producción del ladrillo con esta nueva materia prima:

- Entradas de la naturaleza: materias para la fabricación del ladrillo.
- Entradas de la Tecnosfera: materiales y combustible, así como también electricidad y calor para operar la planta.
- Emisiones al aire, suelo y agua.
- Salidas tecnosfera: Biogás y ladrillos.
- Residuos: Residuos del post-tratamiento del digestato.

### 3.5. LÍMITES DE ESTUDIO

Como se ha explicado anteriormente, el estudio de los impactos se va a realizar tanto para la fabricación del ladrillo a partir del digestato como para el método convencional. Para poder llevarlo a cabo, es necesario definir primeramente los límites de estudio en cada una de las dos líneas de investigación.

Para la fabricación del ladrillo a partir de digestato, como límites de estudio para estudiar los impactos del sistema se va a tener en cuenta desde el digestato proveniente de los residuos agroalimentarios de los mercados de abastecimiento hasta su uso como materia prima en la fabricación del ladrillo.

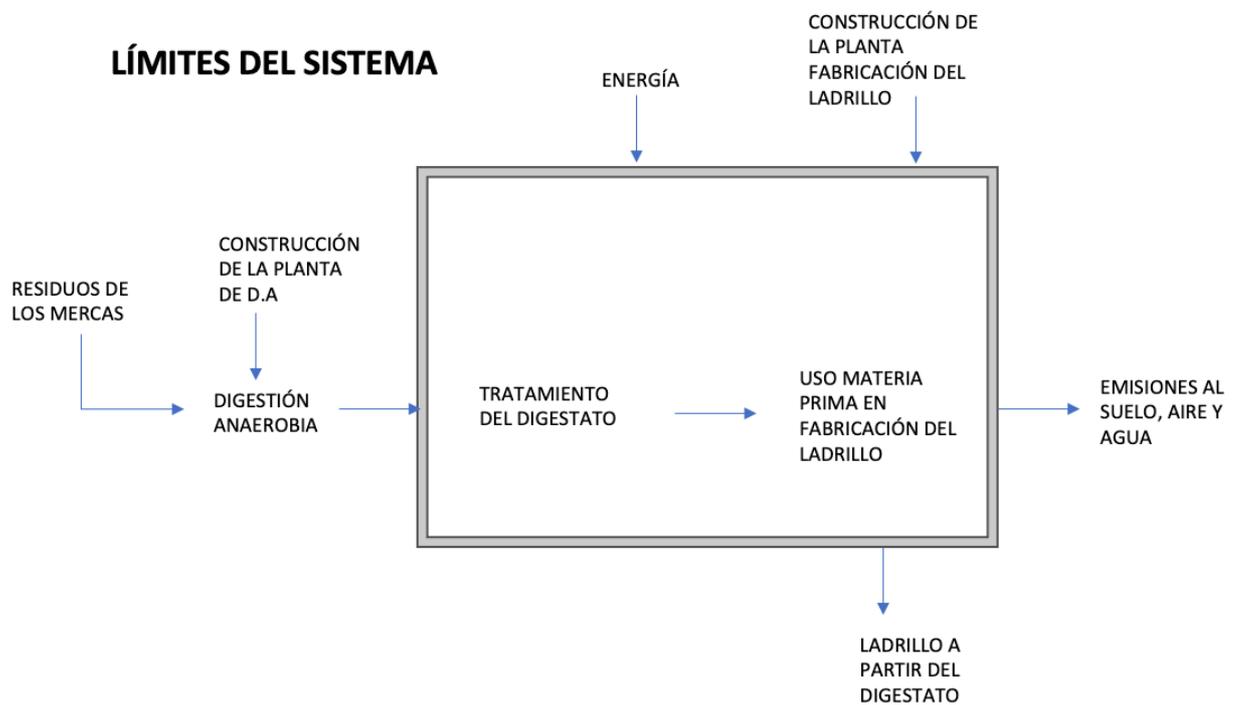


Figura 5. Límites del sistema para la fabricación del ladrillo a partir del digestato.

En cuanto a los límites para la fabricación del ladrillo convencional se van a definir desde la extracción de la materia prima, en este caso la arcilla, hasta la fabricación del ladrillo.

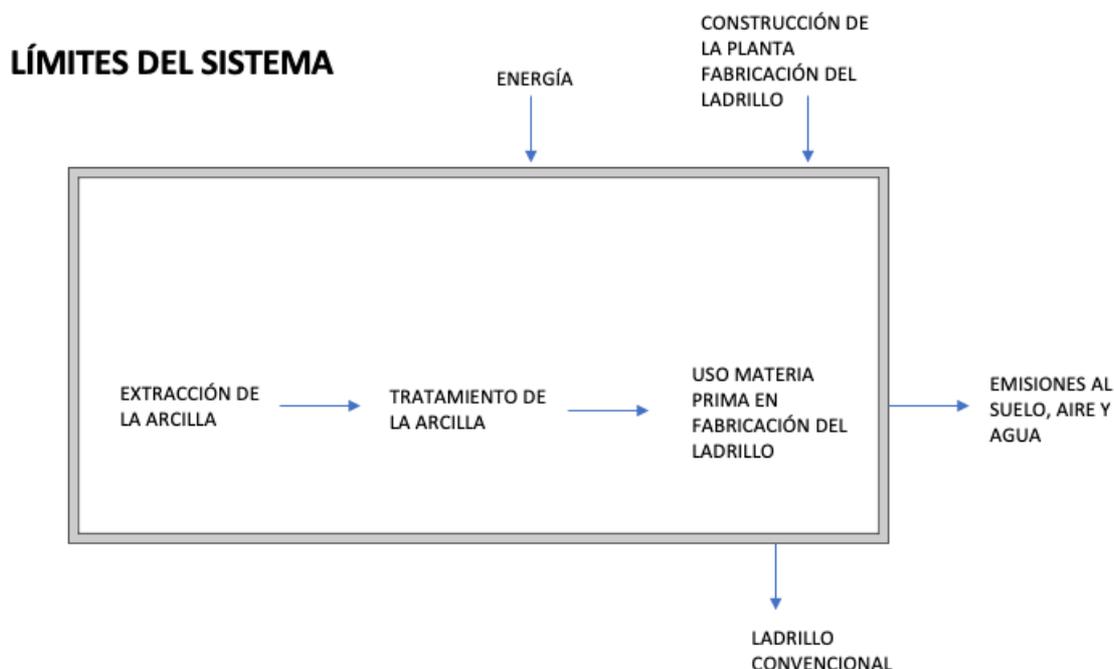


Figura 6. Límites de estudio para la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla.

La construcción e infraestructura de la planta de biomasa no se ha tenido en cuenta a la hora de estudiar sus impactos debido a que esta no supone un impacto importante para los mercados de abastecimiento de gran tamaño.

Del mismo modo, tampoco se ha definido la construcción de la planta de fabricación del ladrillo ya que al ser el mismo proceso tanto para el uso de la arcilla como materia prima que el digestato, no sería necesario la construcción de nuevas plantas, sino simplemente una adaptación de las que ya hay en uso.

### **3.6. ESTUDIO DE LOS IMPACTOS**

#### **3.6.1. Identificación de impactos**

Para poder desarrollar un estudio de los impactos, es necesario comenzar con la identificación de los indicadores que permitirán evaluar los elementos ambientales afectados por el presente proyecto.

Con el objetivo de simplificar y visualizar el análisis de las diversas variables, se empleará la *tabla 1* y la *tabla 2*, donde se identifican y examinan los impactos en los elementos del medio ambiente que podrían verse afectados durante cada una de las etapas del proyecto.

Se han estudiado los impactos tanto para el uso del digestato como materia prima, como para el método tradicional utilizando arcilla. A su vez, también se han separado el proceso de tratamiento/extracción de la materia prima y la fabricación del ladrillo para poder comparar ambos de una manera más objetiva.

Los impactos encontrados se resumen en los siguientes:

- Contaminación de los recursos naturales: la generación de residuos, como restos de lubricantes utilizados en maquinaria y equipos, residuos de materias primas, etc., pueden contaminar el suelo y el agua, deteriorando la calidad de estos recursos y afectando a la fauna y flora local. Además, si no se maneja adecuadamente esta generación de residuos, esto puede afectar a la degradación del medio ambiente.

Los derrames en el transporte, por otro lado, pueden causar contaminación en el suelo o incluso, filtrarse a aguas subterráneas, causando daños a los sistemas acuáticos.

- Consumo de los recursos naturales: el consumo de materias primas, como es la arcilla en la fabricación de ladrillos, implica a menudo la extracción intensiva que puede alterar los ecosistemas locales, afectar la biodiversidad y agotar los recursos que no son renovables. En el caso del uso del digestato, esto no supondrá tal impacto debido a que es un subproducto de otro proceso.  
El consumo de energía eléctrica es otro aspecto ambiental que considerar ya que, a menudo la generación eléctrica implica la quema de combustibles fósiles con sus consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero.  
Por último, el uso de combustibles para el transporte o para hacer funcionar el horno en la etapa de cocción, puede contribuir a la degradación del medio ambiente y al cambio climático.
- Alteración de la calidad del aire: las emisiones de partículas, como el polvo y otros contaminantes en algunos procesos supone un gran impacto ambiental. Estas partículas pueden ser inhaladas por los seres humanos y los animales, causando problemas de salud y contribuyendo a su vez, a problemas como la contaminación del aire.  
Por otro lado, las emisiones de gases, como son los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono u óxidos de nitrógeno, pueden tener grandes impactos ambientales. Estos gases contribuyen al cambio climático, que como sabemos es un problema que afecta a patrones climáticos, a ecosistemas y a la biodiversidad. Además, gases como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de lluvia ácida que daña cultivos y bosques, además de perjudicar la salud humana.
- Alteración de la calidad acústica: las emisiones de ruido procedentes por la maquinaria y los equipos utilizados en la industria pueden suponer un impacto perjudicial en la salud y bienestar de los trabajadores de la planta y en las personas que habitan las comunidades cercanas. Altos niveles de ruido pueden

provocar estrés, alteraciones de sueño, así como también, en casos más extremos a enfermedades cardiovasculares.

Además, un ruido excesivo puede tener efectos perjudiciales en la fauna local. Alterando de este modo algunos comportamientos de los animales.

- Radiación térmica: en la etapa de cocción se libera calor al entorno. Estas emisiones pueden contribuir al calentamiento local del ambiente, alterando los ecosistemas y afectando a la fauna y flora local.

Para facilitar la comprensión y la visualización de las entradas y salidas, y de los impactos asociados a las diferentes etapas de ambos procesos, se han llevado a cabo unas figuras correspondientes a cada uno de ellos (*figura 7 y 8*). Primeramente, se hace referencia al digestato como materia prima, y posteriormente, a la arcilla.

A su vez, estas etapas se dividen en dos fases principales. La primera fase consiste en el tratamiento de la materia prima correspondiente, ya sea el digestato o la arcilla, y comprende las etapas que debe sufrir cada material para poder ser utilizado en el proceso final de fabricación del ladrillo.

La segunda fase, que es común para ambos materiales, corresponde precisamente al mencionado proceso de fabricación del ladrillo. Mediante esta distinción en fases, podemos apreciar de manera más clara y organizada las distintas etapas del proceso de cada material, y estudiar los puntos críticos en cuanto a impactos ambientales se refiere.

A) Arcilla como materia prima:

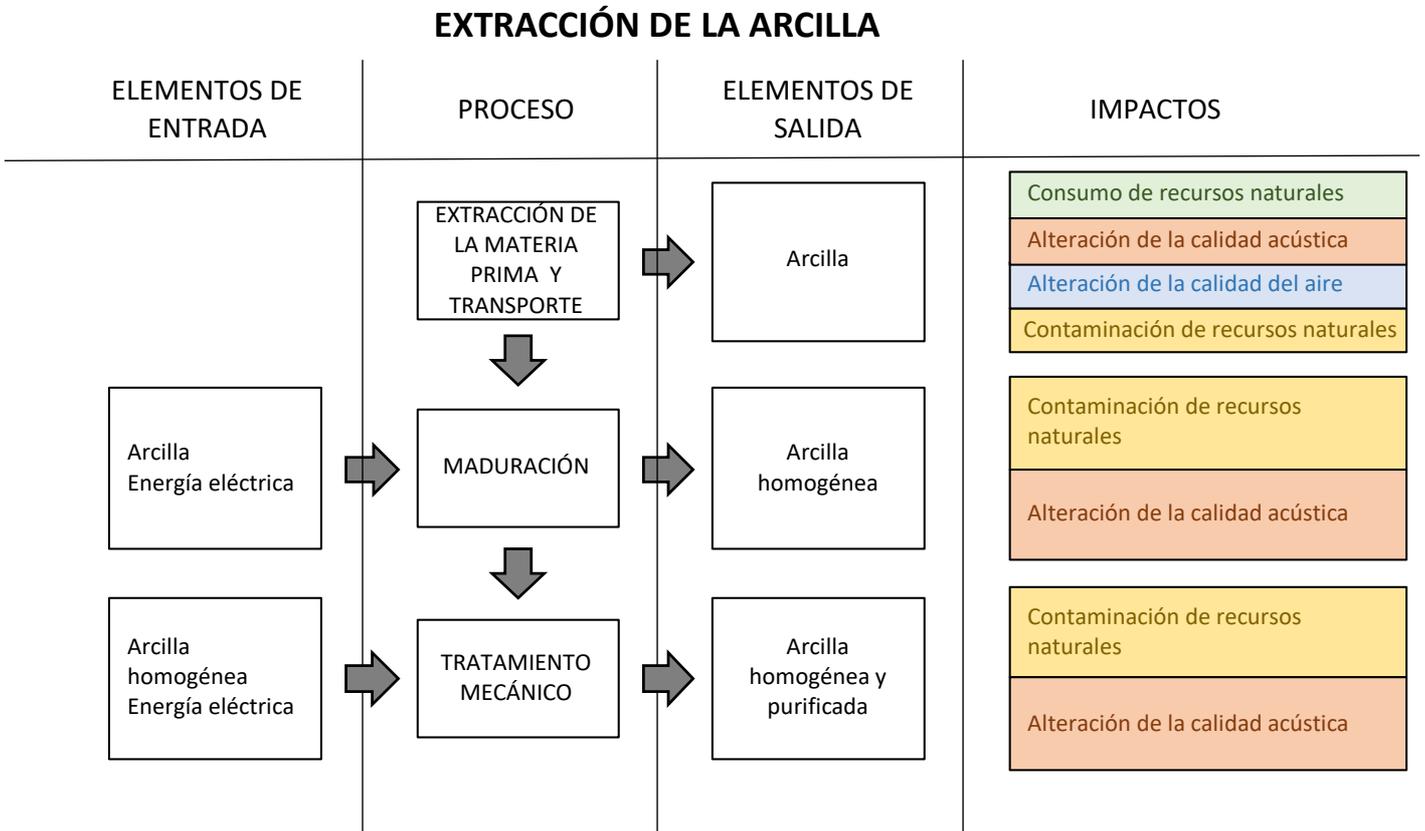


Figura 7. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de extracción y preparación de la arcilla.

La extracción de la arcilla, al igual que cualquier actividad minera, supone las etapas más contaminantes y críticas del proceso de fabricación del ladrillo. Esto se debe a que esta actividad provoca erosión del suelo, degradación del mismo y alteración de sus propiedades.

Además, la alteración del paisaje es una consecuencia directa de la extracción de arcilla, ya que implica la eliminación de la vegetación y la exposición del suelo. Esto puede dar lugar a la pérdida de hábitats, afectando a la biodiversidad local y alterando los ecosistemas de la zona.

Por último, la extracción de arcilla puede contaminar los sistemas acuáticos cercanos debido a la liberación de sedimentos y productos químicos en el proceso. Este drenaje puede llevar a la contaminación de ríos y lagos cercanos, afectando la vida acuática y la calidad del agua.

### FABRICACIÓN DEL LADRILLO (ARCILLA)

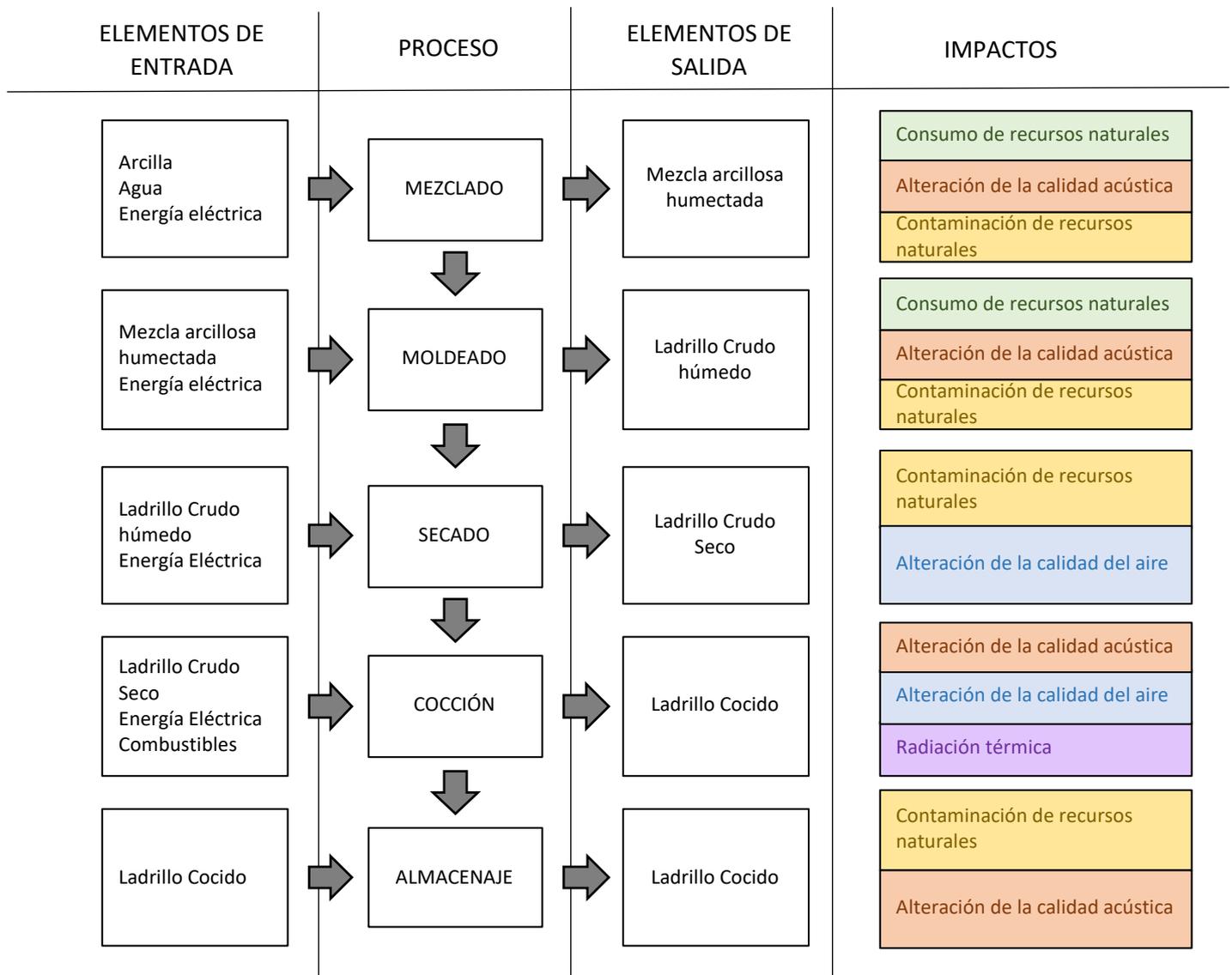


Figura 8. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de fabricación del ladrillo a partir de la arcilla.

Las etapas productivas del proceso productivo del ladrillo a partir de arcilla son muy similares al proceso a partir del digestato y su mayor diferencia es en los elementos de entrada y salida de las materias primas empleadas. Sin embargo, es importante destacar que el ladrillo cerámico presenta la desventaja de la etapa de la cocción, la cual no es posible realizar con el ladrillo a partir del digestato.

IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES			
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD		ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
PROCESO	ACTIVIDAD		
EXTRACCIÓN DE LA ARCILLA	EXTRACCIÓN MATERIA PRIMA	Generación de residuos	Contaminación de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Emisiones de materias particuladas	Alteración de la calidad del aire
		Consumo de arcilla	Consumo de recursos naturales
	TRANSPORTE	Derrames y generación de residuos	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de combustible	Consumo de recursos naturales
		Emisión de gases	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
	MADURACIÓN	Generación de residuos	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
	TRATAMIENTO MECÁNICO	Emisiones de materias particuladas	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de partículas	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales

		Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
FABRICACIÓN DEL LADRILLO	MEZCLADO	Consumo de agua	Consumo de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
	MOLDEADO	Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
	SECADO	Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
		Emisiones de vapor de agua	Alteración de la calidad del aire
	COCCIÓN	Emisiones de gases CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Cenizas, etc.	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Consumo de combustible	Consumo de recursos naturales
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.		Contaminación de recursos naturales	
		Emisión de calor	Radiación térmica

	ALMACENAJE	Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Generación de residuos de ladrillo cocido	Contaminación de recursos naturales

Tabla 1. Identificación de aspectos e impactos ambientales en la extracción y preparación de la arcilla y la fabricación del ladrillo a partir de la misma.

B) Digestato como materia prima:

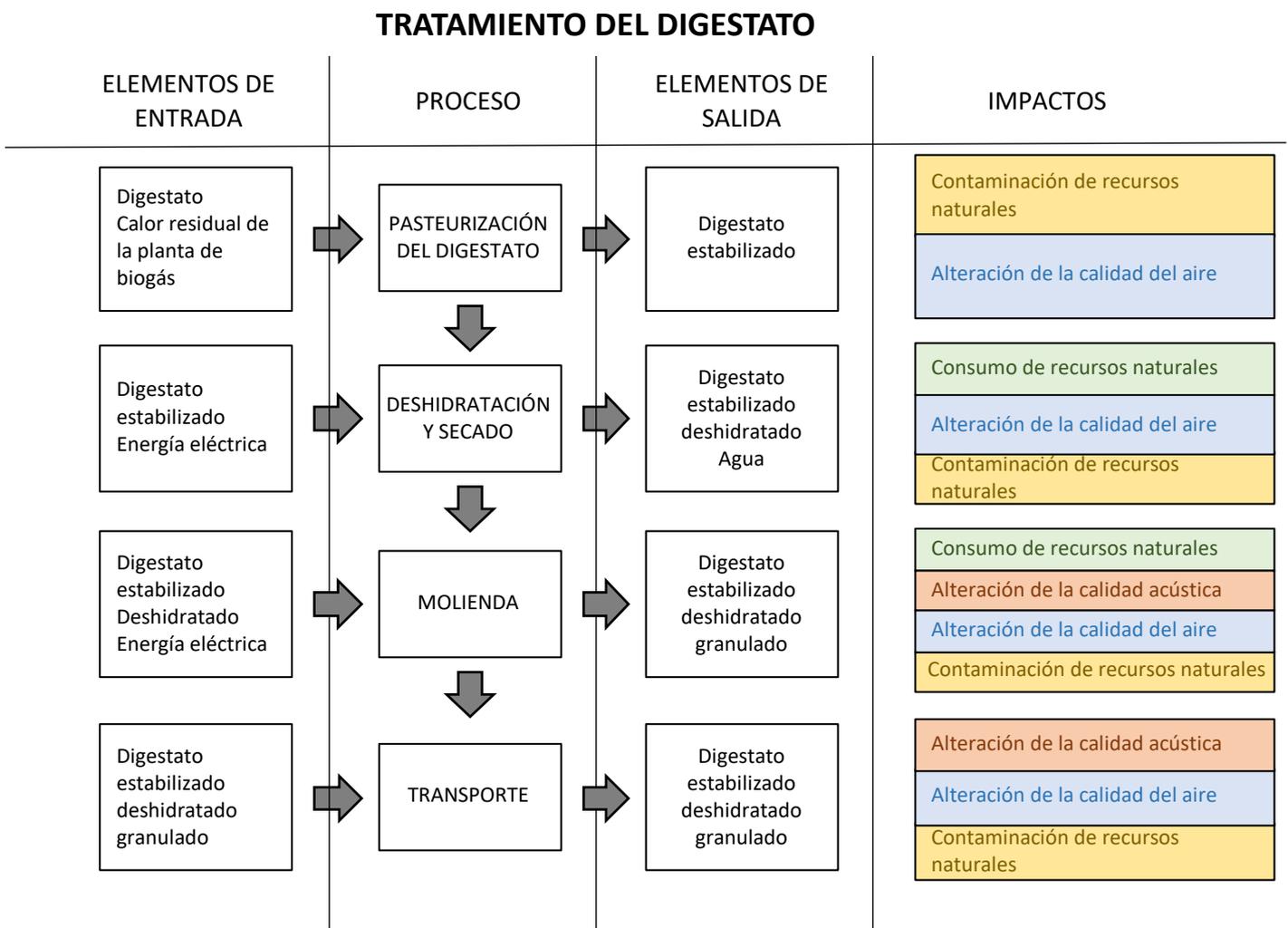


Figura 9. Impacto y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del tratamiento del digestato.

El digestato, subproducto de las plantas de biomasa, debe ser tratado antes de ser usado en el proceso de fabricación de ladrillos de construcción para reducir su contenido en componentes que pueden alterar las propiedades del producto final, regular su alto contenido en agua a un nivel adecuado y con el que sea fácil su transporte, y conseguir una consistencia homogénea. En estas etapas de tratamiento del digestato podemos observar los elementos de entrada y salida, y que los impactos son mayoritariamente la contaminación de recursos naturales por la generación de residuos, el consumo de recursos naturales por la necesidad de utilizar energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos del proceso y, por último, la alteración de la calidad del aire por la generación de olores y la emisión de partículas a la atmosfera.

Es importante destacar que este proceso permite una significativa reducción del consumo de energía eléctrica en comparación con otros métodos. Esto se debe al aprovechamiento del calor residual procedente de la planta de biogás durante la etapa de pasteurización del digestato. En este proceso se reduce en gran cantidad el uso de energía eléctrica utilizada en comparación con otros procesos, debido al uso del calor residual de la planta de biogás en la etapa de pasteurización del digestato, contribuyendo a la eficiencia energética.

### FABRICACIÓN DEL LADRILLO (DIGESTATO)

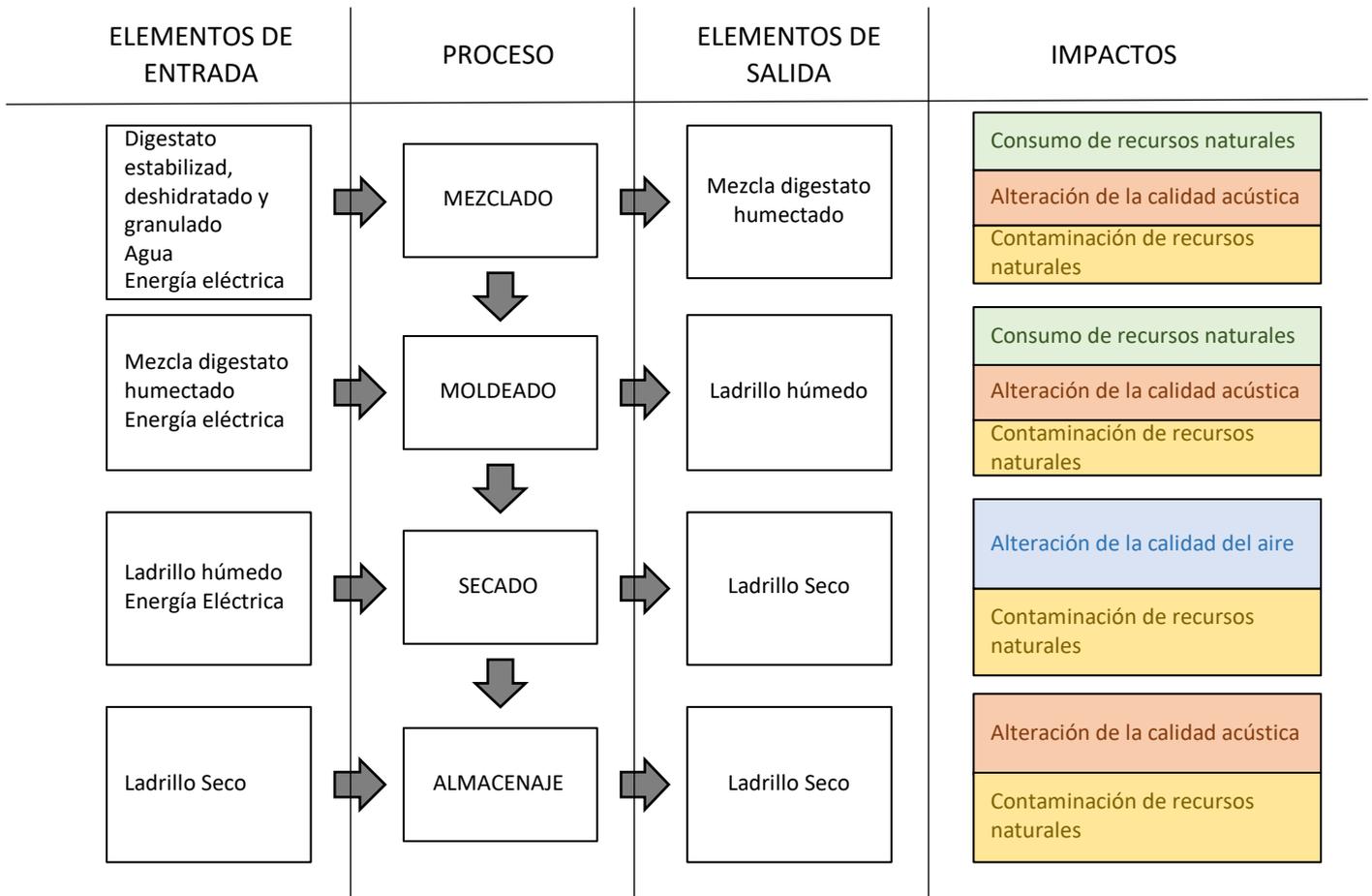


Figura 10. Impactos y elementos de entrada y salida para cada una de las etapas del proceso de fabricación del ladrillo a partir del digestato.

El proceso de fabricación del ladrillo a partir del digestato consiste en las mismas fases que el método convencional lo que supone una gran ventaja ya que no es necesario realizar grandes inversiones en la planta para adaptarla a la nueva materia prima.

En cuanto a los impactos que podemos observar durante estas etapas, destaca el consumo de los recursos naturales por el uso de agua en la etapa de mezclado, el consumo de combustible en la etapa de cocción y de energía eléctrica. Además, también encontramos la alteración de la calidad del aire por la emisión de gases a la atmósfera.

IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES			
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD		ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
PROCESO	ACTIVIDAD		
TRATAMIENTO DEL DIGESTATO	PASTEURIZACIÓN DEL DIGESTATO	Generación de residuos	Contaminación de recursos naturales
		Generación de olores	Alteración de la calidad del aire
	DESHIDRATACIÓN Y SECADO	Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Generación de olores	Alteración de la calidad del aire
	MOLIENDA	Emisión de partículas	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
	TRANSPORTE	Derrames y generación de residuos	Contaminación de recursos naturales
		Consumo de combustible	Consumo de recursos naturales
		Emisión de gases	Alteración de la calidad del aire
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
	FABRICACIÓN DEL LADRILLO	MEZCLADO	Consumo de agua
Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.			Contaminación de recursos naturales

		Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
	MOLDEADO	Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de recursos naturales
		Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
	SECADO	Generación de residuos de restos de lubricantes, piezas de metal, etc.	Contaminación de recursos naturales
		Emisiones de vapor de agua	Alteración de la calidad del aire
	ALMACENAJE	Emisión de ruido	Alteración en la calidad acústica
		Generación de residuos de ladrillo cocido	Contaminación de recursos naturales

Tabla 2. Identificación de aspectos e impactos ambientales en el tratamiento del digestato y la fabricación del ladrillo a partir del mismo.

A diferencia del proceso convencional, es importante tener en cuenta que no se contempla la etapa de cocción al utilizar el digestato como sustituto de la arcilla. Esto se debe a que el digestato por sí solo no puede ser sometido a este proceso, y el secado sería suficiente para su utilización.

Sin embargo, si se busca obtener propiedades mecánicas similares a las del ladrillo cerámico, sería necesario incorporar arcilla al digestato y someterlo a la cocción. No obstante, el tiempo requerido para esta etapa sería menor, lo que resultaría en una reducción de los impactos asociados a esta etapa del proceso.

### 3.6.2. Metodología de evaluación

Una vez identificados todos los aspectos e impactos ambientales en cada fase de todo el proceso, se ha llevado a cabo una metodología de ecoauditoría y para ello, se ha seguido la estimación cuantitativa de la publicación “Evaluación de Impacto Ambiental, de D. Domingo Gómez Orea (Gómez Orea, 1988).

Consiste en asignar un valor, que varía desde el más favorable al más desfavorable, a cada una de las variables asociadas a cada impacto.

CÓDIGO	VALOR	CLASIFICACIÓN	IMPACTO	EXPLICACIÓN
S	Signo	+	Beneficioso	Beneficioso para el Medio Ambiente
		-	Perjudicial	Nocivo para el Medio Ambiente
		x	Difícil de clasificar	Datos insuficientes
I	Inmediatez	3	Directo	Efecto directo o primario con repercusión inmediata sobre algún factor ambiental
		1	Indirecto	Efecto secundario. Derivado de otro primario.
A	Acumulación	3	Acumulativo	Incrementa progresivamente su gravedad
		1	Simple	Se manifiesta en un único componente ambiental. No induce efectos secundarios, ni acumulativos, ni sinérgicos.
SI	Sinergia	3	Fuerte	Sinérgico: refuerza efectos simples
		2	Media	
		1	Leve	
M	Momento	3	Corto plazo	Ciclo anual
		2	Medio plazo	Antes de 5 años
		1	Largo plazo	> 5 años
P	Persistencia	3	Permanente	Alteración de duración indefinida

		1	Temporal	Alteración temporal, de duración limitada
<b>Rv</b>	<b>Reversibilidad</b>	3	Largo plazo	Efecto reversible: puede ser asimilado por procesos naturales Efecto irreversible: no puede ser asimilado o sólo después de mucho tiempo
		2	Medio plazo	
		1	Corto plazo	
<b>Rc</b>	<b>Recuperabilidad</b>	3	Difícil	Efecto recuperable: puede eliminarse o reemplazarse por la acción natural o humana Efecto irrecuperable: no puede eliminarse o reemplazarse por la acción natural o humana
		2	Media	
		1	Fácil	
<b>C</b>	<b>Continuidad</b>	3	Continuo	Produce alteración constante en el tiempo
		1	Discontinuo	Se manifiesta de forma intermitente o irregular
<b>P</b>	<b>Periodicidad</b>	3	Periódico	Aparece de forma cíclica o recurrente
		1	Irregular	Impredecible en el tiempo

Tabla 3. Terminología de evaluación de los impactos. (Gómez Orea, 1988)

Posteriormente, se calcula el valor de la incidencia típica para cada impacto a partir de una fórmula aplicando los valores que previamente se han asignado.

$$I_{tip} = 2I + 3A + 3SI + M + P + 2Rv + Rc$$

Ecuación 1. Cálculo de la incidencia típica de los impactos.

Finalmente se calcula el índice de Incidencia Estandarizado:

$$I_{est} = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

*Ecuación 2. Cálculo de la incidencia estandarizada.*

Siendo:

- *I<sub>min</sub>* la Incidencia típica con menor valor de todos los impactos.
- *I<sub>max</sub>* la Incidencia típica con mayor valor de todos los impactos.

Si el impacto I es:

- Próximo a 0: Se considera un impacto de escasa intensidad, reversible, simple, no sinérgico, poco extenso y con efectos a largo plazo.
- Próximo a 1: Se considera un impacto intenso, permanente, irreversible, irrecuperable, acumulativo, sinérgico, extenso y de efectos inmediatos.

### 3.6.3. Resultados de los impactos

En la siguiente tabla podemos encontrar la valorización de impactos para cada etapa de ambos procesos. Primeramente, para el uso del digestato como materia prima, y a continuación para la fabricación de ladrillos convencional a partir de arcilla.

Se ha considerado los resultados de los impactos:

- Impacto leve o nulo sobre el medio (LE) si el valor de  $I_{est}$  se encuentra entre 0 y 0,25.
- Impacto medio sobre el medio (ME) si el valor de  $I_{est}$  se encuentra entre 0,25 y 0,5.
- Impacto grave sobre el medio (GR) si el valor de  $I_{est}$  se encuentra entre 0,5 y 0,75.
- Impacto crítico sobre el medio (CR) si el valor de  $I_{est}$  se encuentra entre 0,75 y 1.

IMPACTO LEVE O NULO (LE)
IMPACTO MEDIO (ME)
IMPACTO GRAVE (GR)
IMPACTO CRÍTICO (CR)

Tabla 4. Código de colores y letras para la identificación de los impactos.

#### A. Valorización de impactos con la **arcilla** como materia prima

FABRICACIÓN DEL LADRILLO A PARTIR DE ARCILLA											
IMPACTO AMBIENTAL	S	I	A	SI	M	P	Rv	Rc	Itip	I <sub>est</sub>	Tipo de impacto
<b>EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Degradación del suelo	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
Alteración de las propiedades del suelo	-	3	1	2	3	3	1	1	24	0,53	GR

Erosión del suelo	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
Alteración del paisaje	-	3	3	1	3	3	1	1	27	0,71	GR
Pérdida de hábitat	-	3	3	1	3	3	1	1	27	0,71	GR
Contaminación de sistemas acuáticos	-	3	3	1	3	3	3	2	32	1,00	CR
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	3	21	0,35	ME
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Agotamiento de recursos no renovables (arcilla)	-	3	1	1	3	1	3	3	25	0,59	GR
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
Consumo de combustible	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>TRANSPORTE</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Derrames y generación de residuos	-	1	1	2	3	1	1	1	18	0,18	LE
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de combustible	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE											
Incremento de emisión de gases a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
MADURACIÓN											
CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
TRATAMIENTO MECÁNICO											
CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE											

Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>MEZCLADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
Consumo de agua	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>MOLDEADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											

Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>SECADO</b>											
CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE											
Emisiones de vapor de agua	-	1	1	1	3	1	1	1	15	0	LE
<b>COCCIÓN</b>											
CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
Consumo de combustible	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE											
Incremento de emisión de gases a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE

RADIACIÓN TÉRMICA											
Emisión de calor	-	3	1	1	3	1	1	2	20	0,29	ME
ALMACENAJE											
CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE

Tabla 5. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla.

Tras analizar detenidamente el proceso convencional de fabricación de ladrillos a partir de arcilla, se pueden identificar diversos impactos graves y críticos. Específicamente, durante las etapas iniciales de extracción de la materia prima, se observan impactos de gran magnitud debido a las actividades de minería que implican alteraciones significativas en el entorno natural y puede tener efectos perjudiciales en los ecosistemas locales.

En este proceso encontramos un impacto crítico, la contaminación de sistema acuáticos. Esta situación es preocupante debido a sus efectos negativos en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos.

En cuanto a impactos graves tenemos la generación de residuos y el incremento de emisión de gases a la atmosfera. Además de estos, se consideran impactos graves la emisión de partículas a la atmósfera, la degradación y alteración del suelo, la erosión del suelo, la alteración del paisaje y la pérdida del hábitat. Por último, también es considerado un impacto de esta magnitud el agotamiento de recursos en la extracción de la arcilla. Estos impactos tienen un impacto significativo en el medio ambiente y la biodiversidad.

Los impactos medios observados son consumo de energía eléctrica, el uso de soldaduras y lubricantes, consumo de combustible, el incremento de la contaminación acústica y emisión de calor.

En los impactos leves encontramos la generación de residuos y derrames durante el transporte, el agotamiento de recursos no renovables, en este caso la arcilla, y la emisión de calor.

B. Valorización de impactos con el **digestato** como materia prima

<b>FABRICACIÓN DEL LADRILLO A PARTIR DEL DIGESTATO</b>											
IMPACTO AMBIENTAL	S	I	A	SI	M	P	Rv	Rc	Itip	Iest	Tipo de impacto
<b>PASTEURIZACIÓN DEL DIGESTATO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Generación de olores	-	3	1	1	3	1	1	2	20	0,29	ME
<b>DESHIDRATACIÓN Y SECADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Generación de olores	-	3	1	1	3	1	1	2	20	0,29	ME
<b>MOLIENDA</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											

Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>TRANSPORTE</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Derrames y generación de residuos	-	1	1	2	3	1	1	1	18	0,18	LE
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de combustible	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de gases a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>MEZCLADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
Consumo de agua	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											

Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>MOLDEADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>SECADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Emisiones de vapor de agua	-	1	1	1	3	1	1	1	15	0	LE
<b>ALMACENAJE</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE

Tabla 6. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir del digestato.

En la fabricación del ladrillo a partir del digestato, subproducto de la digestión anaerobia en la planta de biomasa se pueden identificar tres tipos de impacto: graves, medios y leves.

Entre los impactos más significativos en este proceso de producción se encuentran la generación de residuos y el incremento de la emisión de gases a la atmósfera. Estos se consideran impactos graves, ambos con un valor de 0,65.

Además, se observan impactos medios, tales como el consumo de energía eléctrica, el uso de soldaduras y lubricantes para la maquinaria en el proceso y, consumo de combustible en la etapa de cocción para hacer funcionar el horno. También encontramos en esta etapa que la emisión de calor a la atmósfera se considera un impacto medio, aunque su magnitud es menor.

Por último, como impactos leves encontramos el incremento de la contaminación acústica debido al ruido de la maquinaria, las emisiones de vapor de agua en el secado y el consumo de agua.

Las mayores diferencias entre los dos procesos se pueden apreciar en las etapas iniciales de cada uno, ya que es en este punto donde son más distintos entre sí. Es por ello por lo que estas etapas se vuelven críticas en la comparación y estudio de estas metodologías, con el fin de poder analizar y evaluar adecuadamente los impactos asociados a cada proceso.

## Capítulo 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las últimas fases de ambos procesos resultan muy parecidas debido a que para ambas soluciones se sigue el mismo procedimiento y lo único que varía es la materia prima utilizada. Es por ello, que donde debemos fijarnos es en las etapas iniciales para poder observar las diferencias.

Además, vamos a obviar en el estudio las etapas de transporte ya que los impactos en esta fase son idénticos para ambas metodologías. De esta forma podemos observar de forma más clara y centrar la atención en las fases más críticas para el estudio.

Por lo tanto, los impactos en los que debemos centrarnos son los siguientes:

A) Para la arcilla:

<b>FABRICACIÓN DEL LADRILLO A PARTIR DE ARCILLA</b>											
IMPACTO AMBIENTAL	S	I	A	SI	M	P	Rv	Rc	Itip	Iest	Tipo de impacto
<b>EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Degradación del suelo	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
Alteración de las propiedades del suelo	-	3	1	2	3	3	1	1	24	0,53	GR
Erosión del suelo	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
Alteración del paisaje	-	3	3	1	3	3	1	1	27	0,71	GR
Pérdida de hábitat	-	3	3	1	3	3	1	1	27	0,71	GR
Contaminación de sistemas acuáticos	-	3	3	1	3	3	3	2	32	1,00	CR

Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	3	21	0,35	ME
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Agotamiento de recursos no renovables (arcilla)	-	3	1	1	3	1	3	3	25	0,59	GR
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
Consumo de combustible	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>MADURACIÓN</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE
<b>TRATAMIENTO MECÁNICO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											

Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE

Tabla 7. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir de la arcilla relevantes en el estudio.

B) Para el digestato:

<b>FABRICACIÓN DEL LADRILLO A PARTIR DEL DIGESTATO</b>											
IMPACTO AMBIENTAL	S	I	A	SI	M	P	Rv	Rc	Itip	Iest	Tipo de impacto
<b>PASTEURIZACIÓN DEL DIGESTATO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Generación de olores	-	3	1	1	3	1	1	2	20	0,29	ME
<b>DESHIDRATACIÓN Y SECADO</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME

Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Generación de olores	-	3	1	1	3	1	1	2	20	0,29	ME
<b>MOLIENDA</b>											
<b>CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Generación de residuos	-	1	3	2	3	3	1	1	26	0,65	GR
<b>CONSUMO DE LOS RECURSOS NATURALES</b>											
Consumo de Energía Eléctrica	-	1	1	2	3	1	3	2	23	0,47	ME
Consumo de soldadura y lubricantes	-	3	1	1	3	1	2	2	22	0,41	ME
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>											
Incremento de emisión de partículas a la atmósfera	-	3	1	2	3	1	2	3	26	0,65	GR
<b>ALTERACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA</b>											
Incremento de la contaminación acústica	-	3	1	1	3	1	1	1	19	0,24	LE

Tabla 8. Valorización de los impactos de la fabricación del ladrillo a partir del digestato relevantes en el estudio.

Analizando los resultados de los impactos estimados para cada una de las etapas de ambos procesos, se puede observar que la fase de extracción es dónde se concentran los impactos más críticos. Esto era algo previsible debido a la conocida naturaleza invasiva de la extracción de las materias primas y su impacto en los ecosistemas locales.

La fase de extracción es exclusivamente necesaria en el proceso de producción del ladrillo cerámico convencional y que, al utilizar el digestato como sustituto en la industria ladrillera, se logra evitar la necesidad de llevar a cabo esta etapa. Esto significa que los impactos ambientales asociados a la extracción de materias primas se eliminan por completo, lo que representa una ventaja significativa en términos de sostenibilidad y preservación del medio ambiente.

Con el fin de facilitar una mejor observación y comparación de los resultados, se proporciona a continuación una tabla que muestra el número de impactos asociados a cada nivel de gravedad en todas las etapas de ambos procesos (*Tabla 5 y 6*).

Número	Impactos leves (LE)	Impactos medios (ME)	Impactos graves (GR)	Impactos críticos (CR)
<b>A partir de la arcilla</b>	10	18	17	1
<b>A partir del digestato</b>	8	13	9	0

*Tabla 9. Número de impactos según el nivel de gravedad.*

En cuanto a los impactos en las etapas críticas y de mayor estudio en este proyecto. Las etapas son aquellas que se ha destacado previamente en las tablas anteriores (*Tablas 7 y 8*).

Proceso de fabricación de ladrillos a partir de arcilla

Impacto ambiental	Impactos leves (LE)	Impactos medios (ME)	Impactos graves (GR)	Impactos críticos (CR)
Extracción de la materia prima	0	3	8	1
Maduración	1	2	1	0
Tratamiento mecánico	1	2	2	0
<b>TOTAL DE IMPACTOS</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>1</b>

Tabla 10. Número de impactos según el nivel de gravedad en etapas críticas en la fabricación de ladrillos a partir de arcilla.

Proceso de fabricación de ladrillos a partir del digestato

Impacto ambiental	Impactos leves (LE)	Impactos medios (ME)	Impactos graves (GR)	Impactos críticos (CR)
Pasteurización del digestato	0	1	1	0
Deshidratación y secado	0	3	1	0
Molienda	1	2	2	0
<b>TOTAL DE IMPACTOS</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0</b>

Tabla 11. Número de impactos según el nivel de gravedad en etapas críticas en la fabricación de ladrillos a partir de arcilla.

Estos resultados muestran que, en términos generales, el proceso de fabricación de ladrillos a partir del digestato como sustituto de la arcilla presenta una reducción significativa en los impactos ambientales en comparación con el proceso convencional. Se observa una disminución en el número de impactos graves, medios y leves en el proceso basado en el digestato.

Es importante resaltar que el proceso convencional basado en la arcilla presenta un impacto crítico, lo que indica un riesgo significativo para el medio ambiente. Sin embargo, al utilizar el digestato como sustituto de la arcilla, se logra eliminarlo por

completo. Esto demuestra una clara ventaja ambiental y una mejora en la sostenibilidad del proceso.

Esta reducción en los impactos se puede atribuir a varios factores. En primer lugar, el uso de digestato como materia prima reduce la necesidad de extraer arcilla de la tierra, lo que disminuye los impactos asociados a la degradación del suelo, la pérdida de hábitat y la alteración del paisaje. Además, al evitar la extracción de arcilla, también se reducen los impactos relacionados con la contaminación acuática, ya que se minimiza la liberación de sedimentos y otros contaminantes en los sistemas acuáticos.

Otro aspecto importante es el proceso de cocción. En el proceso convencional, la arcilla requiere un tiempo prolongado de cocción, lo que implica un alto consumo de energía y emisiones de gases a la atmósfera. En contraste, el digestato no requiere una cocción, o en el caso en el que se incorpore arcilla, este proceso no sería tan extenso, lo que reduce significativamente el tiempo dedicado a esta etapa y, por lo tanto, los impactos asociados al consumo de energía y emisiones de gases.

Además, hay que añadir que esta solución permite valorizar el digestato como residuo de otra industria. Esto no solo aporta una nueva perspectiva sobre su utilidad, sino que también puede ofrecer ventajas económicas a medida que se reduce la dependencia de la arcilla.

De igual manera, es importante mencionar que la integración del digestato en el proceso de fabricación de ladrillos no requiere cambios significativos en la infraestructura y en el proceso de fabricación. Este es un punto fundamental, pues es una industria ya está optimizada y la integración del digestato en este proceso permite mantener las mismas operaciones y rutinas, lo que hace que su implementación sea fácil y factible sin requerir modificaciones costosas en el sistema de producción.

Por tanto, la reutilización de digestato no solo aporta beneficios ambientales y económicos, sino que también se alinea perfectamente con los procesos industriales ya establecidos.

Finalmente, el uso del digestato en esta industria contribuye a la economía circular. Al integrar el digestato en este sistema, no sólo estamos reciclando este material, sino que también estamos ayudando a construir una economía más sostenible y resiliente.

## Capítulo 5. ANÁLISIS DE COSTES

La fabricación de ladrillos es una tradición que se remonta a varios siglos atrás y aún perdura en el tiempo. Incluso con el surgimiento de materiales de construcción contemporáneos, la producción de ladrillos sigue siendo una actividad próspera en todo el mundo. De acuerdo con los informes más recientes de la industria, se espera que el mercado mundial de fabricación de ladrillos se expanda a un ritmo anual compuesto del 8% en los próximos años hasta 2026 (*Costos de funcionamiento de la fábrica de ladrillo: gastos clave para considerar, s. f.*).

En esta industria existen diferentes costes que hay que tener en cuenta y que afectan al coste total de la producción:

- **Mano de obra:** Uno de los principales costes en la actividad productiva de las fábricas de ladrillos corresponde a los gastos laborales. Se necesita personal altamente especializado para operar las máquinas y equipos para la producción. Además, es imprescindible contar con profesionales altamente cualificados para supervisar el proceso y asegurar que los ladrillos resultantes cumplen con los requisitos de calidad exigidos. Los costos adicionales por formar a nuevos empleados y los gastos derivados de las horas extraordinarias también incrementan la suma total de los costos laborales.
- **Materias primas:** El coste de las materias primas supone un gran porcentaje de los costes totales de operación que la planta de fabricación de ladrillos debe suplir. El coste de los insumos, como es la arcilla, el agua, o en el caso de nuestro estudio, el digestato, puede oscilar en función del mercado internacional. De igual manera, los gastos asociados al transporte de estos materiales incrementan el precio total de las materias primas necesarias.
- **Energía:** Referido a los costes de la electricidad y otras fuentes de energía que resultan imprescindibles para el funcionamiento de la planta. Además, el proceso de producción de ladrillos demanda un alto consumo energético,

necesitando una considerable cantidad de electricidad para poner en marcha la maquinaria.

- Maquinaria y equipos: Para poder llevar a cabo la producción de los ladrillos, es necesario contar con la maquinaria y equipos especializados, específicamente diseñados para este tipo de fabricación. El coste asociado a la adquisición y el mantenimiento de estos equipos supone un gasto considerable en los costes operativos de una planta de fabricación de ladrillos.
- Transporte: Los gastos en logística representan otra parte importante de los costes asociados a las plantas de producción de ladrillos. El producto terminado debe ser trasladado desde la fábrica hasta los respectivos lugares de construcción y del mismo modo, las materias primas empleadas durante el proceso de producción deben ser transportadas hasta las instalaciones de la planta.
- Mantenimiento y reparación: Al igual que en cualquier planta y para cualquier proceso, es necesario contar con los gastos derivados del deterioro de la maquinaria y el mal funcionamiento. Es por ello, que se necesitan reparaciones y seguir un mantenimiento de la maquinaria y el equipo.
- Seguro: Como en todas las plantas productivas, es necesario que estas cuenten con un sistema de seguros para proteger ante eventuales accidentes que puedan suceder en las instalaciones de la fábrica.
- Impuestos y permisos: Para que la fábrica pueda operar legalmente es necesario que esta cuente con los permisos necesarios y que esta pague sus impuestos.

Una vez que se han identificado todos los gastos que son necesarios tener en cuenta para la operación de la planta de fabricación de ladrillos vamos a analizar cuáles de ellos son importantes tener en cuenta en este estudio.

La mano obra utilizada, la energía consumida, el transporte, el mantenimiento y la reparación, el seguro y los impuestos y permisos, podemos considerar que son prácticamente iguales para ambas metodologías. Por lo que, en el análisis de la

comparación de costes, estas no serán de relevancia y no afectarán significativamente en la evaluación.

En cuanto a la maquinaria utilizada, aunque es idéntica durante el proceso de fabricación del ladrillo, es importante tener en cuenta que puede haber diferencias en la maquinaria utilizada en las etapas de extracción de arcilla o tratamiento del digestato. Sin embargo, para simplificar el análisis, consideraremos que la maquinaria es igual en ambos métodos.

Por lo tanto, el enfoque principal estará en comparar el costo de la arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos tradicional con el costo del digestato como materia prima alternativa. Esta comparación nos permitirá evaluar la viabilidad económica de utilizar digestato y determinar si puede ofrecer una ventaja competitiva en términos de costos en comparación con la arcilla y no solo en cuanto a impactos ambientales.

Para poder realizar los cálculos del beneficio anual que se obtendría al utilizar el digestato, se ha supuesto lo siguiente:

- Una fábrica con una producción anual de 146.000 toneladas de ladrillos al año.
- El precio medio del ladrillo es de 0,30 € por unidad y que este precio se mantiene para ambas metodologías.
- En la fabricación de ladrillos cerámicos se tiene una pérdida del 15% de la materia prima, por lo que el consumo de arcilla será de 167.900 toneladas/año.
- Sin embargo, para el digestato, se supone que se pierde un 31% de la materia prima y por lo tanto es necesario un consumo de 191.260 toneladas/año de este subproducto.
- El precio de la arcilla extraída y tratada para ser usada como materia prima es de 33 €/tonelada (Chino Marroquín, 2018).
- El precio del digestato sin tratar, debido a que se han hecho los cálculos de las inversiones de los equipos de tratamiento, es de 28 €/tonelada (Nutriman, s. f.).
- Cada unidad de ladrillo tiene un peso de 1,8 kg

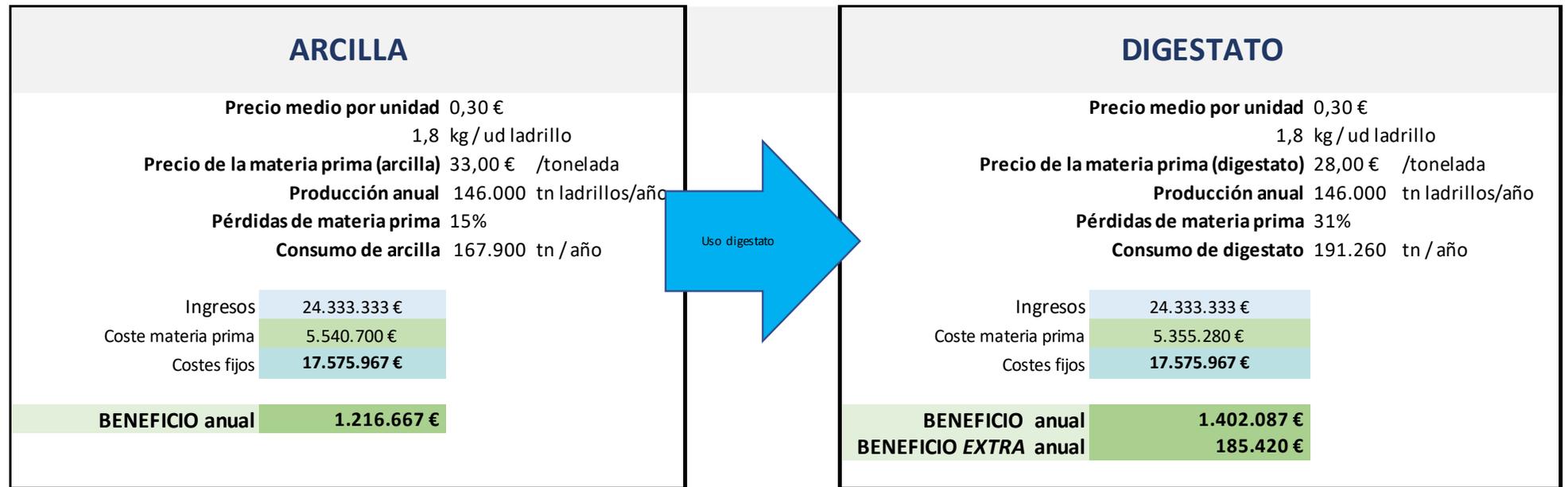


Figura 11. Comparación y análisis de los costes del uso de ambas materias primas en la fabricación del ladrillo.

En base a la información presentada, se puede concluir que el uso del digestato como materia prima en la construcción de ladrillos ofrece beneficios económicos adicionales a las plantas de fabricación. Estos beneficios se traducen en un aumento anual de 185.420 euros debido a la reducción del costo de la materia prima.

No obstante, para poder utilizar el digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos, es necesario someterlo a un tratamiento previo, tal como se ha explicado a lo largo de este proyecto. Con el fin de evaluar la rentabilidad del proyecto, se llevará a cabo un análisis financiero que tendrá en cuenta los costos de adquisición de los equipos necesarios para llevar a cabo dicho tratamiento, así como los costos asociados al consumo de energía de dichos equipos.

En este sentido, se han establecido las siguientes características para el análisis financiero del proyecto:

- El precio medio de la electricidad en España es de 0,33 kWh (*Consulta el precio de la luz hoy: coste de la electricidad por horas, s. f.*).
- En cuanto a la energía que consume la pasteurización del digestato se ha supuesto nula, debido a que esta usará el calor residual de la planta de biomasa.
- Una inflación del 2%.
- Que la fábrica trabaja 3600 horas al año.
- También se han estudiado los equipos necesarios para el tratamiento del digestato y los costos de electricidad asociados.

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Ahorro anual</b>	<b>185.420,00</b>	<b>189.128,40</b>	<b>192.910,97</b>	<b>196.769,19</b>	<b>200.704,57</b>	<b>204.718,66</b>	<b>208.813,04</b>	
<b>COSTES TRATAMIENTO DIGESTATO</b>								
Pasteurizador	(25.000,00)							
<i>Energía (calor residual planta biomasa)</i>	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Prensa de deshidratación	(65.399,00)							
<i>Energía (57 kWh)</i>	(67.716,00)	(69.070,32)	(70.451,73)	(71.860,76)	(73.297,98)	(74.763,94)	(76.259,21)	
Molino de molienda	(26.000,00)							
<i>Energía (76 kWh)</i>	(90.288,00)	(92.093,76)	(93.935,64)	(95.814,35)	(97.730,63)	(99.685,25)	(101.678,95)	
<b>TOTAL</b>	<b>(116.399,00)</b>	<b>27.416,00</b>	<b>27.964,32</b>	<b>28.523,61</b>	<b>29.094,08</b>	<b>29.675,96</b>	<b>30.269,48</b>	<b>30.874,87</b>

Tabla 12. Estudio financiero del uso del digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos.

Presentando ahora los flujos de caja que tendría el proyecto:

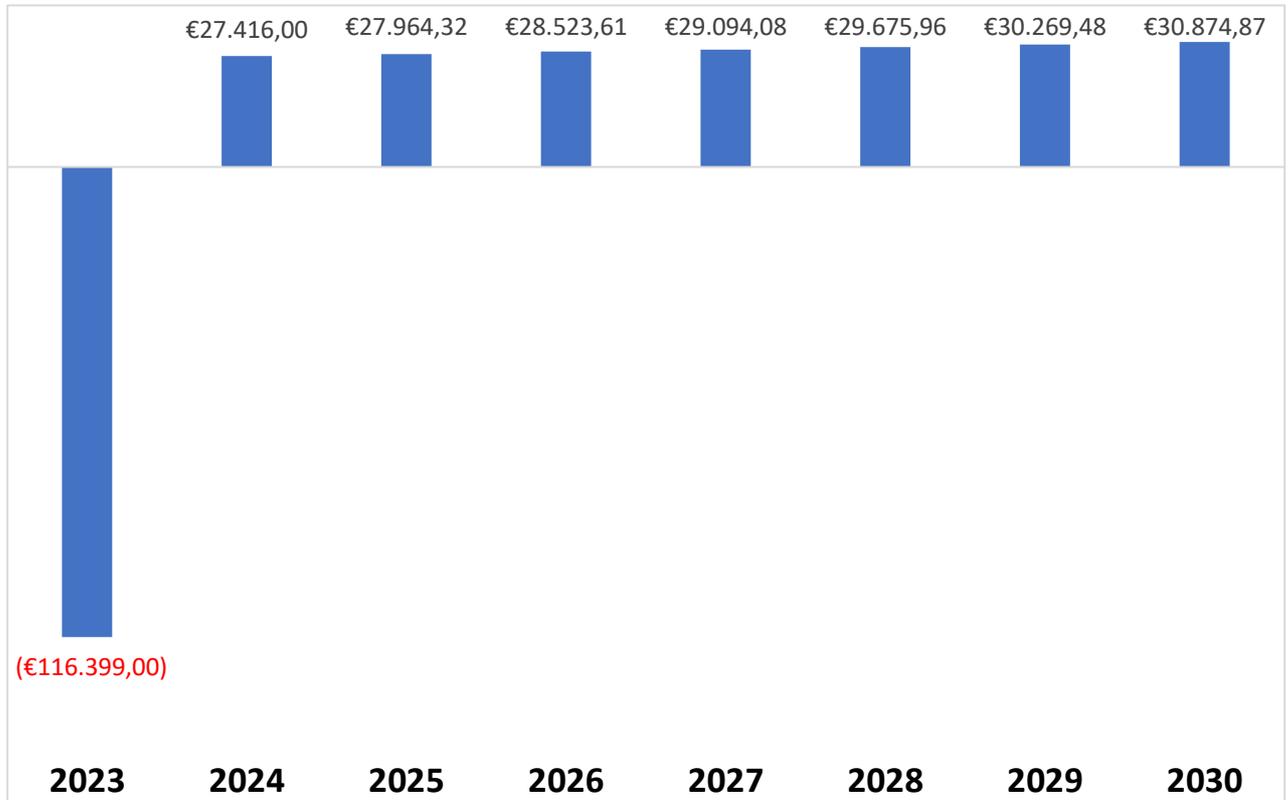


Figura 12. Flujos de caja del estudio financiero del uso de digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos.

Al analizar el flujo de caja del proyecto, se observa que, en el año inicial, es decir, el año que se realizaría la inversión, el flujo de caja es negativo y asciende a 116.399 euros. Sin embargo, a partir del primer año, los flujos de caja se vuelven positivos, lo que indica que el proyecto comienza a generar beneficios económicos.

Además, es importante destacar que el periodo de recuperación de la inversión se estima en 4 años. Esto significa que el proyecto alcanzaría un punto en el cual los flujos de caja acumulados superarían el monto de la inversión inicial después de transcurridos 4 años.

Estos datos son relevantes para evaluar la viabilidad financiera del proyecto y proporcionan una indicación clara de que, a largo plazo, el uso del digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos puede ser rentable.

Por último, se ha calculado la Tasa Interna de Retorno, el Valor Actual Neto con una tasa de descuento del 15% y el Retorno de la Inversión del proyecto dando un resultado muy positivo.

<b>TIR</b>	<b>16%</b>
<b>VAN</b>	<b>2.976,48 €</b>
<b>ROI</b>	<b>75,10%</b>

Tabla 13. Análisis financiero del uso del digestato como materia prima en la fabricación de ladrillos.

El proyecto en cuestión muestra resultados financieros positivos y atractivos. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza el 16%, lo que indica una tasa de rendimiento interna significativa. Además, el Valor Actual Neto (VAN) se sitúa en 2.976,5 €, demostrando la generación de flujos de efectivo netos favorables a lo largo del tiempo. Por último, el Retorno de la Inversión (ROI) se sitúa en un destacable 75,10%, lo que refleja un retorno sustancial en comparación con la inversión inicial. Estos indicadores financieros sugieren que el proyecto presenta una rentabilidad sólida y la capacidad de generar beneficios económicos significativos.

## Capítulo 6. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Un aspecto muy importante para el desarrollo de un proyecto en la actualidad es que persiga el cumplimiento de uno o varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. Los ODS son una ambiciosa agenda global que busca abordar los desafíos más apremiantes que enfrenta nuestro planeta y promover un desarrollo sostenible en todas sus dimensiones.

En este contexto, la utilización del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos se ha demostrado como una opción viable y prometedora en términos de su impacto ambiental y económico. Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es analizar y resaltar la alineación de la utilización del digestato en la fabricación de ladrillos con dichos objetivos.

- **OBJETIVO 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.** La sustitución de biomasa procedente de combustibles fósiles por el biogás permite reducir la contaminación del aire. Además, se reduce la propagación de enfermedades ya que se tratan y reciclan los residuos orgánicos. Por otro lado, la utilización de materiales con bajas emisiones de componentes orgánicos volátiles (COVs) previene concentraciones insalubres de CO<sub>2</sub>, gases y partículas en el aire.
- **OBJETIVO 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.** El tratamiento por el cual se hace pasar al digestato previo a su uso en el proceso de fabricación de ladrillos, contribuye a la estabilización y reciclaje de los biosólidos, lo que ayuda a reducir la cantidad de carbono en las aguas residuales y promueve una gestión sostenible del agua.

- **OBJETIVO 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.** El uso del digestato en la fabricación de ladrillos permite aprovechar el calor residual de las plantas de biogás en la etapa de pasteurización del digestato, permite que se reduzca la necesidad de utilizar fuentes de energía convencionales, lo que conlleva a una disminución de la dependencia energética. A su vez, esto promueve una producción más sostenible y eficiente, y reducir las emisiones asociadas a la producción de ladrillos en la industria de la construcción.
- **OBJETIVO 8. Trabajo decente y crecimiento económico.** La implementación del uso del digestato en la fabricación de ladrillos puede generar oportunidades de empleo en el sector de la gestión de residuos. Esto puede proporcionar empleo local y contribuir al crecimiento económico sostenible en las comunidades cercanas a las plantas de biogás y a las instalaciones de fabricación de ladrillos. Además, el análisis financiero mencionado previamente indica que el proyecto puede generar beneficios económicos a largo plazo, lo que podría contribuir al desarrollo económico y al trabajo decente en el sector relacionado.
- **OBJETIVO 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.** Colaboración entre las industrias y la agricultura creando una economía circular y de beneficio mutuo. La integración del digestato en el proceso de fabricación de ladrillos se alinea con este objetivo al utilizar un subproducto como materia prima en lugar de la arcilla. Se optimizan los recursos y se reduce la extracción de recursos naturales no renovables. Esto impulsa la eficiencia en la producción y fomenta una industria ladrillera más sostenible y responsable con la obtención de materiales mucho más respetuosos con el medio ambiente.
- **OBJETIVO 11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.** El uso del digestato en la fabricación de ladrillos tiene un impacto positivo en este objetivo. Al reducir la extracción de arcilla se disminuye la perturbación en los ecosistemas locales, lo que contribuye a la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras. Además, la mejora en la

gestión de los residuos agroalimentarios mediante su reutilización como digestato ayuda a reducir los riesgos para la salud y mejora la calidad de vida de las comunidades locales al evitar la acumulación de residuos y la contaminación asociada, minimizando el impacto en el medioambiente y utilizando materiales más sostenibles y ecológicos.

- **OBJETIVO 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.** La utilización del digestato en la fabricación de ladrillos es un ejemplo concreto de producción y consumo responsables. En lugar de desechar los residuos agroalimentarios, se les da un nuevo propósito valioso, cerrando el ciclo de los materiales y fomentando la economía circular. Al reutilizar estos residuos como materia prima, se reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y se maximiza su valor económico y ambiental.
- **OBJETIVO 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.** Con este proyecto se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la extracción de la arcilla, y por lo tanto en la industria de la construcción. Al evitar procesos intensivos de combustión o quema, se reducen las emisiones de contaminantes atmosféricos, mejorando la calidad del aire y promoviendo un entorno más saludable. Además, con la sustitución de otras fuentes de energía basadas en combustibles fósiles por el calor residual de la planta de biogás en la pasteurización del digestato se promueve la reducción de las emisiones de dióxido de carbono.
- **OBJETIVO 15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.** El uso del digestato en la fabricación de ladrillos contribuye a la protección de los ecosistemas terrestres. Al reducir la extracción de arcilla, se disminuye la degradación del suelo, la erosión y la pérdida de biodiversidad. Esto ayuda a preservar los ecosistemas locales y promover la salud y resiliencia de los ecosistemas circundantes.

## Capítulo 7. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación se ha centrado en el estudio de viabilidad para utilizar el digestato, un subproducto generado por las plantas de biogás a partir de residuos agroalimentarios de varios mercados de abastecimiento en España, como sustituto en la fabricación de ladrillos. A través de un análisis exhaustivo, se evaluaron los impactos ambientales, la viabilidad económica y la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de esta práctica.

En cuanto a los impactos ambientales, los resultados obtenidos de la ecoauditoría revelaron que la fase de extracción de arcilla es la etapa más crítica en términos de impacto ambiental. La extracción de arcilla implica el removimiento de grandes cantidades de suelo, lo que causa una interrupción significativa en los ecosistemas locales. Además, esta actividad puede provocar la degradación del suelo, la erosión y la pérdida de biodiversidad, afectando negativamente la salud de los ecosistemas circundantes.

El impacto ambiental de la extracción de arcilla se extiende más allá de la degradación del suelo y los ecosistemas. La extracción a gran escala de arcilla conlleva la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, como el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Estas emisiones contribuyen al cambio climático y a la contaminación del aire, afectando la calidad del aire que respiramos y generando problemas relacionados con la salud respiratoria.

Sin embargo, al utilizar el digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos, es posible lograr una significativa disminución de los impactos ambientales asociados a las primeras etapas de producción. El digestato se convierte en una valiosa alternativa a la arcilla como materia prima en la fabricación de ladrillos. Al utilizar este producto, se evita la necesidad de extraer grandes cantidades de arcilla del medio ambiente, reduciendo así la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.

Además, el uso del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos presenta beneficios adicionales en términos de reducción de emisiones. En comparación con la extracción de arcilla, el uso del digestato como materia prima produce menos emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Esto se debe a que el digestato se produce a partir de residuos orgánicos, que son naturalmente bajos en contenido de carbono y no requieren procesos intensivos de combustión o transformación. Además, es importante destacar que en la etapa de pasteurización del digestato en el proceso de tratamiento del mismo, el calor utilizado es el residual de la planta de biogás, reduciendo así la dependencia energética.

El uso del digestato en la fabricación de ladrillos también ofrece oportunidades para mejorar la gestión de los residuos agroalimentarios. En lugar de desechar estos residuos, se les da un nuevo propósito al convertirlos en un recurso valioso. Esta reutilización y revalorización del digestato contribuye a cerrar el ciclo de los materiales y fomenta la economía circular, reduciendo la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y maximizando su valor económico y ambiental.

Además de su impacto ambiental positivo, la utilización del digestato en la industria ladrillera ofrece beneficios económicos adicionales. El análisis financiero reveló un aumento anual en los ingresos debido a la reducción de los costos de la materia prima. A pesar de que se requiere un tratamiento previo del digestato, se determinó que el proyecto es rentable a largo plazo, con un período de recuperación de la inversión estimado en 4 años. Esto indica que el proyecto generará beneficios económicos superiores a la inversión inicial después de transcurrido ese tiempo.

Por otro lado, al aprovechar los residuos agroalimentarios para producir el digestato, se reduce la necesidad de importar arcilla de otros lugares, lo que ahorra costos adicionales relacionados con el comercio y la logística.

Un aspecto crucial en la actualidad es que los proyectos persigan el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este sentido, el uso del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos se alinea con varios ODS. Por ejemplo, el OBJETIVO

3 busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos, y el uso de biogás reduciría la contaminación del aire y la propagación de enfermedades. Asimismo, contribuye al OBJETIVO 6, ya que la digestión anaeróbica estabiliza y recicla los biosólidos, reduciendo la cantidad de carbono en las aguas residuales. En cuanto al OBJETIVO 7, el uso de residuos y cultivos para la producción de energía, como el digestato en la fabricación de ladrillos, ayuda a reducir la dependencia de fuentes de energía basadas en combustibles fósiles. Además, el OBJETIVO 9 se relaciona con la construcción de infraestructuras resilientes y la promoción de la industrialización sostenible, y la colaboración entre las industrias y la agricultura en este proyecto contribuye a una economía circular y de beneficio mutuo. El OBJETIVO 11 busca lograr que las ciudades sean más sostenibles y la utilización de materiales más ecológicos en la fabricación de ladrillos contribuye a este objetivo. De igual manera, el OBJETIVO 12 busca promover modalidades de consumo y producción sostenibles, y la evaluación de la ecoauditoría permite conocer el impacto de los materiales en la construcción. El OBJETIVO 13 busca combatir el cambio climático y sus efectos, y el uso del digestato en lugar de combustibles fósiles contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, la utilización del biogás en lugar de la leña contribuye a reducir la deforestación, relacionada con el OBJETIVO 15 de gestionar sosteniblemente los bosques.

Por último, Es importante destacar que la utilización del digestato en la fabricación de ladrillos no requiere cambios significativos en el proceso de fabricación existente. La industria ladrillera ya está optimizada en términos de maquinaria, técnicas de producción y estándares de calidad. La integración del digestato en este proceso es relativamente fácil y factible, lo que permite mantener las mismas operaciones y rutinas sin requerir alteraciones costosas o complicadas en la infraestructura existente.

En resumen, este estudio ha demostrado que el uso del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos es una opción viable. Desde el punto de vista ambiental, el uso del digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos representa una estrategia prometedora para abordar los impactos negativos asociados con la extracción de arcilla, una materia prima no renovable. En el ámbito económico, el uso del digestato en la

fabricación de ladrillos ofrece una serie de ventajas y oportunidades. Asimismo, la reducción de las emisiones y el cumplimiento de los estándares ambientales pueden abrir puertas a nuevos mercados y oportunidades comerciales, mejorando la competitividad de las empresas y fortaleciendo el desarrollo económico sostenible.

En cuanto al impacto social, la implementación del uso del digestato en la fabricación de ladrillos puede tener un impacto positivo en las comunidades locales. La reducción de la extracción de arcilla disminuye la perturbación en los ecosistemas locales y contribuye a preservar los recursos naturales para las generaciones futuras. Además, al promover una economía circular y mejorar la gestión de los residuos, se reducen los riesgos para la salud asociados con la acumulación de residuos y se mejora la calidad de vida de las comunidades locales. La promoción de empleos en el sector de la gestión de residuos también puede proporcionar oportunidades de empleo local y fortalecer la economía regional.

Estas conclusiones respaldan la importancia y el potencial de utilizar el digestato como sustituto en la fabricación de ladrillos, y sugieren la necesidad de seguir investigando y promoviendo su implementación en la industria de la construcción. Al aprovechar los beneficios ambientales, económicos y sociales de esta práctica, se puede avanzar hacia una economía más sostenible y un futuro más resiliente.

Sin embargo, a pesar de los beneficios identificados, es necesario destacar que aún existen desafíos y áreas que requieren investigación adicional. Es fundamental realizar estudios más detallados sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental a largo plazo de la utilización del digestato en la fabricación de ladrillos en diferentes contextos geográficos y climáticos. Además, es necesario desarrollar estándares y regulaciones claras para garantizar la calidad y seguridad de los ladrillos fabricados con digestato, así como abordar cualquier preocupación relacionada con la durabilidad y la resistencia estructural. Asimismo, la educación y la concienciación pública desempeñan un papel crucial en la promoción de esta práctica sostenible, tanto entre los profesionales del sector de la construcción como entre los consumidores finales.

Al hacerlo, podremos aprovechar plenamente el potencial del digestato como una alternativa sostenible y promover una transición exitosa hacia una industria de la construcción más responsable y resiliente en un futuro próximo.

## REFERENCIAS

*Biofertilizantes de calidad a partir del digestato - Genia Bioenergy.* (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://geniabienergy.com/biofertilizantes-a-partir-del-digestato/#>

Chino Marroquín, E. (2018). Costos de producción y la fijación de precios de los productos de cerámica en arcilla en la Asociación de Artesanos Virgen del Carmen Pucará-2017. *Universidad Andina del Cusco*.  
<http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2398>

Clare T LUKEHURST, Peter FROST, & Teodorita AL SEADI. (2010). Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. *IEA Bioenergy*.

*Consulta el precio de la luz hoy: coste de la electricidad por horas.* (s. f.). Recuperado 27 de junio de 2023, de <https://selectra.es/energia/info/que-es/precio-kwh>

*Costos de funcionamiento de la fábrica de ladrillo: gastos clave para considerar.* (s. f.). Recuperado 14 de junio de 2023, de <https://finmodelslab.com/es/blogs/blog/brick-factory-operating-costs>

*Definición de auditoría ambiental - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE.* (s. f.). Recuperado 24 de abril de 2023, de <https://dpej.rae.es/lema/auditor%C3%ADa-ambiental>

*Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.* (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524>

*DIRECTIVA 2010/75/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control*

*integrados de la contaminación*). (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/doue/2010/334/L00017-00119.pdf>

*Directiva del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura*. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-82066>

*DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos*. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/doue/2018/150/L00109-00140.pdf>

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014a). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014b). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Gómez Orea, D. (1988). Evaluación del impacto ambiental (EIA). *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 5-32. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/82687>

*III Jornadas de Educación Ambiental*. (s. f.). Recuperado 22 de junio de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.aspx>

Lamolinara, B., Pérez-Martínez, A., Guardado-Yordi, E., Guillén Fiallos, C., Diéguez-Santana, K., & Ruiz-Mercado, G. J. (2022). Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*, 140, 14-30. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.12.035>

Lawrence, M. (2015). Reducing the Environmental Impact of Construction by Using Renewable Materials. *J. Renew. Mater.*

*Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.* (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>

*Los planes europeos para el biogás deben incluir el digestato - Reciclaje y gestión de residuos.* (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2023, de <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/455333-Los-planes-europeos-para-el-biogas-deben-incluir-el-digestato.html>

*Mercasa: ¿qué es? - MercaMurcia: Distribución Logística Alimentaria.* (s. f.). Recuperado 14 de junio de 2023, de <https://mercamurcia.es/mercasa-que-es/>

Milner García, S. (2021). Tecnologías innovadoras de tratamiento de digestato para la producción de fertilizantes de alto valor añadido. *Biovic consulting.*

Muñoz, M. (2016). *Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo* [Fundación Universidad de América]. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/613/1/6101390-2016-2-IQ.pdf>

Naciones Unidas. (2022, noviembre 9). *Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización | Noticias ONU.* <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516722>

Nutriman. (s. f.). El uso del digestato como fertilizante en el norte de Europa. *Nutrient Management and Nutrient Recovery Thematic Network.* Recuperado 27 de junio de 2023, de [www.nutriman.net](http://www.nutriman.net)

Páliz Hidalgo, D. C. (2015). *Factibilidad del uso del Raquis de Palma Africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4066>

*Proceso de Fabricación del ladrillo - Bloques Cando*. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2023, de <https://bloquescando.com/proceso-de-fabricacion-del-ladrillo/>

*Qué es una auditoría ambiental | SafetyCulture*. (s. f.). Recuperado 22 de junio de 2023, de <https://safetyculture.com/es/temas/auditoria-ambiental/>

*REGLAMENTO (CE) No 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales)*. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/doue/2009/300/L00001-00033.pdf>

*Reglamento Delegado (UE) 2022/1519 de la Comisión de 5 de mayo de 2022 por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos aplicables a los productos fertilizantes UE que contienen compuestos inhibidores y al postratamiento del digestato*. (s. f.). Recuperado 5 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2022-81354#>