

04-046

DEVELOPMENT OF A CIRCULAR ECONOMY SYSTEM IN THE MANZANIL I INDUSTRIAL ESTATE IN LOJA

García Ceballos, Luz ⁽¹⁾; Andrés Díaz, José Ramón ⁽¹⁾; Marzal Peña, Noelia ⁽¹⁾; Conteras López, Miguel Ángel ⁽¹⁾; Sillero Rubio, María José ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Málaga

Industrial activity in Spain is distributed in different economic activity areas, which have influence on aspects such as city size, economy, infrastructures, mobility and transport. Industry has been criticised for activities and processes that generate large volumes of waste and for not rationally using the increasingly scarce resources. One of the Sustainable Development Goals (SDGs) is "Ensure sustainable consumption and production patterns" (no. 12), which includes among its targets the reduction of waste generation through prevention, reduction, recycling and reuse activities. The circular economy minimizes waste by keeping materials and resources in a closed loop, a concept that is a good solution for sustainable development. In the Manzani I industrial estate in Loja, there is a concentration of agricultural companies that generate plastic and organic waste. In addition, this locality has infrastructures to distribute its products to nearby environments, where can be taken advantage of this waste as raw material. The aim of this work is to develop a "Tenebrio Molitor breeding farm", which transforms plastic waste (a possible food for this type of worm) into fishing bait for the fish farming industry. With this action an industrial circle can be closed.

Keywords: Circular Economy; plastic; tenebrio molitor; sustainable development; waste

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ECONOMÍA CIRCULAR EN EL POLÍGONO MANZANIL I DE LOJA

La actividad industrial en España está distribuida en áreas de actividad económicas, que constituyen un valor en aspectos como tamaño de ciudades, economía, infraestructuras, movilidad y transporte. La industria ha sido criticada por actividades y procesos que generan grandes volúmenes de desechos y desaprovechan recursos que cada vez son más escasos. El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12 es "Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles". Entre sus metas está la reducción de la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. La economía circular minimiza los residuos al mantener los materiales y recursos en un circuito cerrado, concepto que es una buena solución para el desarrollo sostenible. En el Polígono Manzani I de Loja, se concentran empresas agrícolas que generan residuos plásticos y orgánicos. Además, esta localidad cuenta con infraestructuras, para distribuir sus productos a entornos cercano, donde se pueden aprovechar dichos residuos como materia prima. En este trabajo se va a estudiar la implantación de "una granja de cría de Tenebrio Molitor", que transforme el residuo plástico (que es un alimento de este tipo de gusano) en cebo de pesca para la industria de piscifactoría. Con ello se quiere conseguir cerrar un círculo industrial

Palabras clave: Economía Circular; plástico; tenebrio molitor; desarrollo sostenible; residuos



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El sector industrial es un elemento clave para obtener una economía competitiva, estable, sostenible y garante del bienestar colectivo (Cámara de Comercio de España, 2018). Las principales manifestaciones de la industria históricamente se han representado en las grandes ciudades españolas (Madrid, Barcelona, Bilbao, Valencia, ...) convirtiéndolas en grandes capitales económicas y de transformación del territorio. También hay que destacar el papel de las ciudades medias (con un rango demográfico de 50.000 a 300.000 habitantes) en la articulación del territorio nacional (Andrés López, G., 2020), ya que suponen el 23% de la población urbana, el 25% del empleo industrial del país, y más del 33% del suelo productivo. Gracias a la presencia de los polígonos industriales y al impacto que su actividad ha generado, se ha favorecido el desarrollo de la economía y de la sociedad urbana de estos municipios, además de la interrelación e integración en redes territoriales que caracterizan a este tipo de territorios.

La industria española se caracteriza por la concentración en ciertas ramas de actividad, como la agroalimentación, que acapara cerca el 18,1% de la facturación industrial en el año 2020 (INE, 2022). Los residuos agroalimentarios se producen anualmente en cantidades muy elevadas, lo que plantea un grave problema, tanto ambiental como económico. Se calcula que la agricultura utiliza un 3,4 % del mercado de los plásticos, sobre todo en envase y embalajes (más de 1,13 trillones de artículos de embalaje que la industria alimentaria utilizó en Europa durante 2018 (EL DIA, 2021)). Estos plásticos tienen una vida útil muy corta y se convierten en un residuo difícil de gestionar. Cuando los residuos plásticos llegan al medioambiente se degradan y desintegran en pequeñas partículas (micro plásticos) provocando contaminación en océanos, tierra y aire (Visco, A., et al., 2022); (ONU, 2022).

El sector industrial, a pesar de su modernización y haber introducido las tecnologías de la información (TI) en su producción, sigue teniendo un elevado consumo de recursos, materias primas y energía, que es insostenible desde el punto de vista medioambiental. Las nuevas tecnologías se han introducido principalmente para aumentar el beneficio económico, lo cual nos puede llevar a un modelo insostenible por las limitaciones existentes tanto para garantizar que los recursos naturales se utilicen a un ritmo constante, como para la capacidad del planeta para absorber los residuos que producen las empresas. Según los investigadores, la integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) en la industria, se debe realizar a través de políticas de sostenibilidad ambiental mediante los siguientes puntos de partida (Oláh, J. et al., 2020):

- Controlar los insumos de materias primas, información y energía
- Diferenciar entre productos refinados y de calidad y subproductos.
- Tratar los residuos antes de eliminarlos, de forma que se reduzca la contaminación atmosférica, la contaminación del agua y el suelo, y que puedan volver a utilizarse para ser o generar recursos naturales.
- Establecer políticas para que el ecosistema tenga la oportunidad de regenerarse, de lograr la coexistencia

En el 2015, la Unión Europea planteó las estrategias para pasar de una economía lineal a una economía circular para cerrar ciclos de productos (incluyendo materiales y sustancias) y obtener una oportunidad para modernizar y transformar la economía europea en su camino hacia una competitividad sostenible (EPA Network, 2017). El pasado 30 de marzo de 2023 se aprobó en el Pleno del Parlamento de Andalucía la Ley de Economía Circular de Andalucía (LECA) que persigue un desarrollo sostenible que haga compatible el crecimiento económico con una utilización adecuada de los recursos naturales existentes. El eje de esta ley es poner en valor los productos, los materiales y los recursos para que se mantenga en la economía

durante el mayor tiempo posible y reducir al mínimo la generación de residuos y complementa la Estrategia Española de Economía Circular “España Circular 2030” aprobada el 2 de junio de 2020 (Ley 3/2023). Podemos destacar de esta ley la priorización del Análisis del Ciclo de Vida como herramienta para la adopción de la economía circular y conocer los Impactos Ambientales de los distintos procesos industriales. Adopta también el principio de eficiencia, para la optimización del uso de recursos a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos, aplicando criterios de ecodiseño en la concepción de los productos y servicios. También se centra en la disminución de los residuos generados, aplicando la jerarquización de los residuos (reutilización, reciclado, valoración de residuos, ...) y elimina trabas administrativas para la consideración de subproductos y fin de la consideración de residuos. También hace referencia a los plásticos y envases y asume las Directivas 2018/852 y 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo para la reducción de estos productos.

El objetivo de este trabajo es centrarnos en el sector industrial de Loja (Granada), que debido a su posición estratégica y a ser un sector agroalimentario tradicional (principalmente espárrago y olivar) (SIMA;2023), cuenta con diferentes Polígonos Industriales que generan un número elevado de residuos plásticos. Se pretende diseñar un Sistema de Economía Circular para valorar el residuo plástico y gestionarlo como un subproducto que entre de nuevo en el circuito productivo como una nueva materia prima.

Figura 1. Esquema ubicación de las empresas.
(Elaboración Propia)

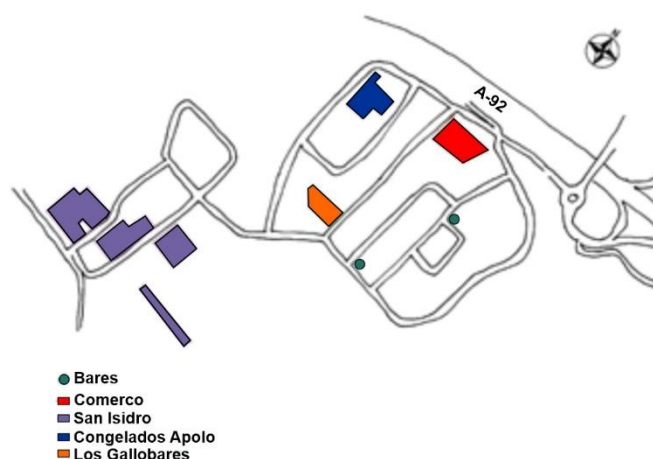
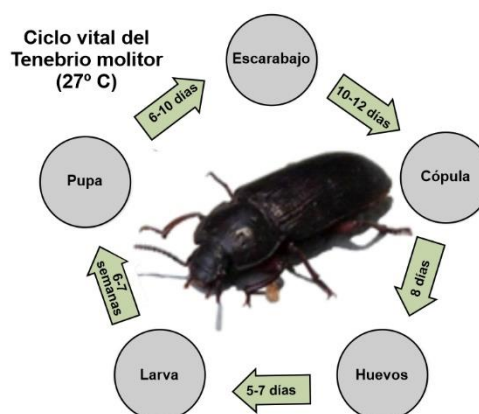


Figura 2. Ciclo de Vital del tenebrio molitor
(AlimentovivoSamsa, 2022)



2. Descripción del Polígono Manzanil II de Loja

El Polígono Manzanil II es una zona industrial situada en el término municipal de Loja, en la provincia de Granada. En él se ubican numerosos negocios como: talleres mecánicos, electromecánicos, comercios mayoristas, tiendas de repuestos, distribuidores de bebida, industria textil, distribuidores de material de construcción, cooperativas agrícolas,... Estos negocios se distribuyen en una superficie de aproximadamente 350.000 m² (Catastro, 2022). En este polígono se encuentran algunas de las empresas que más facturan de Andalucía (El Corto, 2020), como es Congelados APOLO SL, Coaliment AndaluciA SL (COMERCO) o San Isidro de Loja SCA. Junto a estas, también se encuentra una de las naves principales de Los Gallombares SCA, una cooperativa agrícola de las principales exportadoras de espárrago verde de Europa (Europapress, 2020) (Figura 1). Por lo anterior, este polígono es un punto fuerte de la economía de este municipio, aunque en los últimos años está perdiendo parte de su actividad industrial por el cierre de negocios de este sector (La Plaza Digital, 2022). Otra zona industrial que por su cercanía al polígono se tendrá en cuenta es Riofrío, donde se

encuentran las piscifactorías de truchas y esturiones. Según la información aportada por las empresas, los residuos plásticos que genera son los que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Residuos plásticos generados por empresas del polígono (Elaboración propia)

Empresa	Residuos (kg/mes)
Congelados APOLO	342
COMERCO	3.3500
Los Gallombares	1.950
San Isidro	1.615
Total	7.256

Además de los residuos plásticos, se tienen en cuenta los residuos orgánicos como restos de la producción de las verduras y las granzas de café de bares situados en el polígono.

3. Valoración del Residuo Plástico mediante Tenebrio Molitor

3.1. Tenebrio Molitor

El tenebrio molitor, normalmente conocido como Gusano de la Harina, es un insecto de orden coleóptero, de la familia de los Tenebroidae. Como todos los coleópteros, sufre una metamorfosis completa, es decir, es un insecto holometábolo. Desde que sale del huevo, pasa por la fase larvaria, se convierte en pupa (capullo) y finalmente llega a imago (escarabajo), último estadio del desarrollo de los insectos (Topinsect, 2022). En esta última fase es donde alcanza la etapa adulta y se desarrolla el sexo para poder reproducirse. Es su fase larvaria la que actualmente tiene más aplicación, pudiendo usarse como cebo para pesca, alimento animal (ej. reptiles), acuicultura o recientemente reconocido por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) como alimento humano gracias a su alto contenido proteínico (El Norte, 2022) (Turk et al, 2021) (Wikiwand, 2022). El guano (excrementos) producido por estos gusanos se encuentra en un momento de auge en su uso como fertilizante orgánico (Poveda J., 2018), por su gran aporte de nutrientes y de protección contra las plagas. Pero lo que más nos interesa a nosotros es que estas larvas son capaces de alimentarse, además de desechos orgánicos, de diferentes polímeros y, por tanto, transformar los residuos plásticos en alimentos altos en proteína con nutrientes de alta calidad (Corona, 2021). El tenebrio molitor puede valorizar el residuo plástico transformándolo en CO₂ y materia orgánica (guano). Recientes estudios como el de Wu (2019) han determinado que 48h después de la ingesta de plástico no queda resto de polímeros en el organismo de estos animales, aunque actualmente según se ha consultado a MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) cualquier gusano que se alimente de polímeros no puede servir de alimento para otros animales. El ciclo vital de estos insectos se representa en la Figura 2.

Numerosos estudios demuestran la capacidad del tenebrio molitor para degradar el plástico como los de Molina et al.,(2016), o las investigaciones de Álvarez y Botache (2020). La manera de alimentar a este gusano, es un factor importante, ya que, si en su dieta falta agua, estos animales pueden recurrir al canibalismo. También es relevante que con una dieta compuesta únicamente por poliestireno sólo se producen cambios en el tamaño y el color del coleóptero, pero no afecta a su salud y reproducción (Álvarez & Botache, 2020).

Se ha estudiado en un experimento de 45 días, que 23 larvas fueron capaces de biodegradar el 96% de 10g de poliestireno (Molina et al.,2016). También el estudio de Chávez et al. (2022) arroja otros datos: con tres repeticiones y con una cantidad inicial de 16 larvas se tuvo una eficiencia del 54,2%. El estudio de Davirán (2017), concluye que la cantidad de polímero

consumido es directamente proporcional a la densidad de este. El estudio más importante realizado de este consumo es el de Wei-Min Wu, que recoge que el consumo medio es de 0,39mg al día (Wu, 2019). Además, estima que un 8% de la masa de plástico ingerido se convierte en guano. En la Tabla 2, presentamos los diferentes resultados de los experimentos de los investigadores, el estudio de Molina et al. (2016) la cantidad mg ingerido por el insecto es muy superior al resto de los investigadores, se optará por trabajar por el estudio más reciente y con resultado mas cercanos a otros investigadores.

Tabla 2. Comparación de experimentos degradación de PS con tenebrio molitor. Fuente Elaboración propia

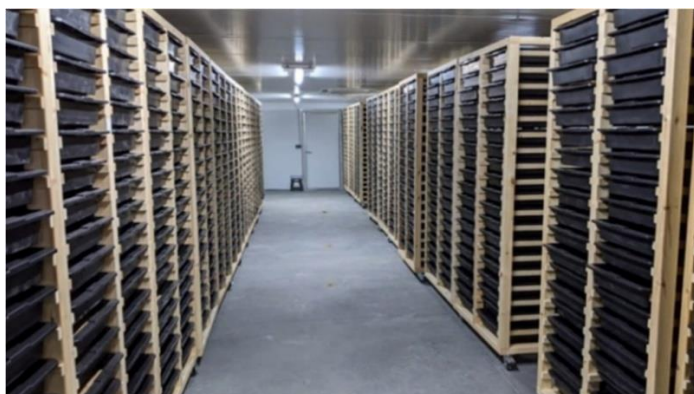
	Chávez et al	Molina et al	Davirán	Wu
mg de PS consumido por gusano/día	0,330	9,275	0,456	0,39
Duración del experimento en días	22	45	8	31
Número de larvas	16	23	40	100

3.2. Cría del Tenebrio Molitor

La cría de tenebrio molitor, al igual que todos los seres vivos, necesita unas condiciones determinadas para una crianza adecuada. Según la investigación de Flórez y Uribe (2019) las condiciones psicométricas idóneas deben estar en un rango de temperatura entre 25 – 28°C y un porcentaje de humedad entre 40-70%. También indica que hay que separar por estadios la crianza de forma que no se produzca depredación entre larvas en distinta fase de su ciclo de vida. Otro factor a tener en cuenta para un mejor desarrollo es la luminosidad, estos animales prefieren ambientes oscuros.

Actualmente se cría este gusano en granjas industriales (como Galinsect) o domésticas. El sistema de cría es muy similar. Se disponen de un “Conjunto Graja Cría” formado por una estructura vertical (“Estantería Cría”) de varios pisos, donde se colocarán unos recipientes (“Cajas Crías”). En las “Cajas Crías” se ubicarán por separado los escarabajos, los huevos y las larvas (Telemadrid, 2022) (Figura 3). Dependiendo de la etapa de desarrollo de las larvas, se harán diferentes cribados para obtener el guano, las pupas o retirar las larvas no productivas.

Figura 3. Granja Industrial – Caja para Cría con Criba de tenebrio molitor. Fuente El Progreso (2022) y Alibaba, 2022



Las estanterías donde se colocan las cajas en los sistemas de cría industrial pueden estar fabricadas de madera o de acero (Proteinsecta, 2023). Las “Cajas Crías” están formadas por un armazón y diferentes tipos de criba dependiendo de la fase del insecto. Las cajas pueden

tener formas variadas y medidas (Insectopolis (2022) (Alibaba 2022), pero el material para la fabricación de las cajas debe ser un material duro y denso. Ya que, si son de madera, o de polímeros de baja densidad, o de cartón pueden ser ingeridos o mordidos por los gusanos (Topinsect, 2022). Se recomienda que el material para las “Cajas de Crías” sea de un polietileno de alta densidad (Manomano, 2022) o de polipropileno (Proteinsecta, 2022). El metal no es recomendable puesto que sometido a cierta humedad se puede oxidar. Las cribas comerciales están hechas de una malla metálica (Alibaba 2022) para el guano o de madera por corte laser para las pupas (Insectopolis, 2022). A la hora de diseñar las cribas se deben tener en cuenta varias consideraciones:

- Los huevos tienen un diámetro de aproximadamente 1mm (Proteinsecta, 2022).
- El filtro para el guano debe tener un diámetro de 0,40mm (Insectopolis, 2022).
- El grosor mínimo de las pupas es de 7 mm (Insectopolis, 2022)

4. Rediseño “Conjunto Cría” de Tenebrio Molitor

Para seguir el criterio de la ley LECA, se van aplicar criterios de ecodiseño para rediseñar el “Conjunto Graja” del tenebrio molitor. En el libro de Usón y Bribián, (2010) se define el Ecodiseño como el conjunto de acciones orientadas a la mejora medioambiental de un producto en la etapa inicial de diseño, mediante la mejora de la función desempeñada, la selección de materiales menos impactantes para su fabricación, la aplicación de procesos de mínimo impacto ambiental, la mejora en el transporte y el uso del producto, y la minimización de los impactos en la disposición final del producto. Para este rediseño usaremos la metodología IHOBE, que consta de siete etapas y da como resultado productos con mejoras en su ecoeficiencia e incorpora los factores motivantes en el diseño (IHOBE, 2000).

4.1. Etapa 1: Preparación del proyecto

Tras la formación de equipo, se decidió diseñar un rediseñar el “Conjunto Cría” para mejorar su perfil medioambiental. Los factores motivantes que los determinaron:

Los factores motivantes externos seleccionados son:

- Administración: para cumplir UNE EN ISO 14040:2006, UNE-EN ISO 14006: 2020 y ley LECA (Ley 3/2023).
- Mercado: Demanda de productos sostenibles y funcionales

Los factores motivantes internos seleccionados son:

- Aumento de la calidad del producto, para aumentar la vida útil del producto
- Mejora de la imagen del producto para conseguir una ecoetiqueta
- Reducción de costes: reduciendo peso o tipo material o uniones

4.2. Etapa 2: Aspectos Ambientales

Mediante un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se evaluará el impacto ambiental (IA) en el ciclo de vida (CV) (AENOR b, 2006) del “Conjunto Granja Cría” de la Figura 3. Tras el análisis se identificará oportunidades para la mejora ambiental en cada etapa del CV, se establecerán prioridades del diseño (se ha empleado un método cuantitativo para el estudio). El objetivo del ACV, es un análisis comparativo del IA entre el “Conjunto Cría” de la Figura 3, con el rediseño a realizar. Para ello se plantea un estudio simplificado destinado a obtener información para determinar el comportamiento medioambiental de cada uno de ellos. El ACV simplificado se ha llevado a cabo utilizando el software SimaPro (SimaPro 9.3.0.2 (PRé, 2016)), la metodología la metodología ReCiPe Endpoint 1.06 (Esnouf et al., 2018) (Goedkoop

et al., 2009)) y la base de datos (BBDD) Ecoinvent 3. Las categorías de impacto a que entran en este estudio por su relevancia tras las evaluaciones (caracterización y normalización) son: Calentamiento global, salud humana (CC-HH) y en ecosistemas terrestres (CC-ED); Formación de partículas finas (MP); Toxicidad cancerígena en humanos (CTH) y no cancerígena en humanos (TH); Uso del suelo (LU); Escasez de recursos fósiles (AGP) y Consumo de agua, Salud humana (WH).

Tabla 3. Inventario “Conjunto Granja Cría” (Elaboración propia basada en Proteinsecta,2022)

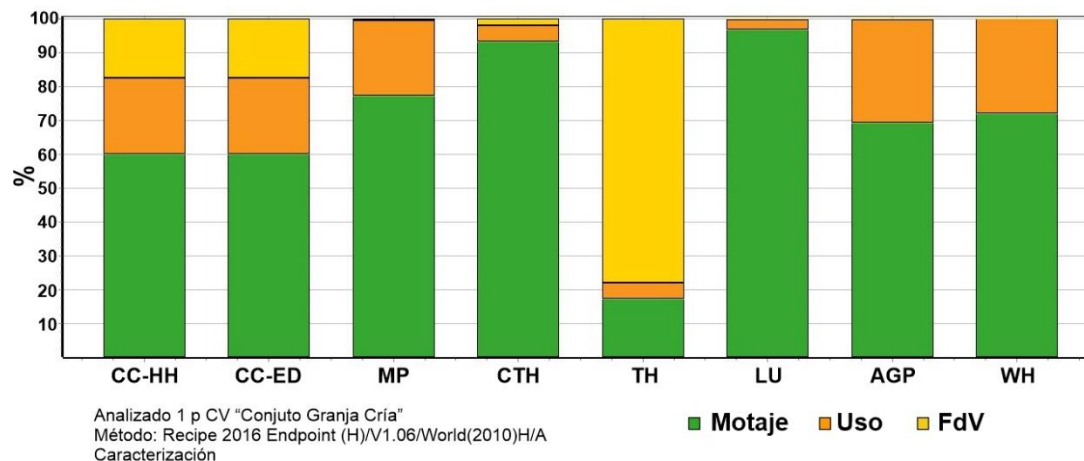
Material	kg	Pieza	Proceso
Madera	4,45	Listones estructura	Madera “Estantería Cría” *
Barniz	0,5		Acrylic varnish, without water
Acero	0,05	Tornillos	Steel, chromium Steel 18/8
Polietileno	1,6	Cajas	Polyethylene, high density, granulate

Fabricación	Material	Proceso
Corte	Madera	Corte Madera “Estantería Cría” **
Torneado	Acero	Chromium Steel removed by turnig,
Atornillado		Electricity, médium voltaje
Inyección	Polietileno	Injection moulding

*Basado: Sawwood, beam, hardwood, dried (u=20%), planed {Europe without Switzerland}

**Basado: (Power Saw Production without catalytic converter)

Figura 4. Caracterización del CV “Conjunto Cría”. Fuente Elaboración propia



Como Unidad Funcional (UF) seleccionada es “1 kg de polímero procesado al día con una vida útil de 20 años de la “Estantería Cría” y de 10 años las “Cajas Cría”. Cada conjunto consta de un armazón dividido en dos partes (2 estanterías). En cada estantería hay 18 soportes para colocar las “Cajas de Crías”, cada bloque de 9 cajas conforma un ciclo. En cada ciclo solo hay 7 bandejas con larvas que pueden alimentarse de polímeros. En cada “Conjunto Cría” tenemos 28 cajas en total. En cada “Caja de Cría” entran aproximadamente 300 gusanos, luego cada conjunto es capaz de procesar según la investigación de Wu,2019 100 gr de polímeros al día. Luego necesitamos 10 “Conjuntos Granja Crías” con un cambio de todas las cajas para satisfacer nuestra UF. Para definir el límite del sistema se ha seguido la recomendación de la norma. Se excluirán del estudio todas aquellas entradas al CV que tengan una baja incidencia respecto al porcentaje total de la masa total de producto, también

se excluyen las cribas y las ruedas. Para facilitar el estudio se consideran procesos genéricos (incluye transporte). El flujo de referencia, de las entradas durante su uso consiste en: las cajas se limpian cada 7 semanas con 0,02 l de agua y la estantería cada 15 día con 0,05 l de agua. En cuanto al Fin de Vida (FdV), se considera que va al vertedero. El inventario obtenido se representa en las Tablas 3, los transportes que se han considerado al seleccionar en la BBDD los procesos de mercado.

Tras la evaluación de impacto (Figura 4), el Montaje (extracción y fabricación) del “Conjunto Cría” representa el 63,4% de la carga ambiental y un 15% la sustitución a los 10 años de las “Cajas Crías”. Si lo estudiamos por los elementos que la conforman las “Cajas Crías” formadas por polietileno de alta densidad es el factor que más desfavorable, así como el consumo energético en el moldeo por inyección. En la parte de la estantería, el mayor impacto lo encontramos en el uso de tornillos (28.5%). El FdV destaca en la categoría de toxicidad.

4.3. Ideas de mejora para el rediseño del “Conjunto Cría”

Se realizó una tormenta de ideas basándonos en la Ruedas Estratégica LIDS (Capuz & Gómez, 2002). A continuación, las ideas se valorización teniendo en cuenta la viabilidad técnica, económica, medioambiental y los factores motivantes definidos (Ihobe,2017) y se seleccionaron los siguientes criterios para el nuevo producto (Sillero, M. J. & García, L. ,2023) (Tabla 4).

Tabla 4. Selección de Ideas de Mejora - “Conjunto Cría”. Fuente Elaboración propia

Caja Cría	Estantería Cría
Material reciclado y reciclable	Material reciclado.
Unificación de materiales	Materiales reciclables.
Maquinaria más eficiente	Unificación de materiales.
Uso de energía renovable	Reducir número de tornillos.
Procesos simples	Tratamiento superficial ecológico
Formas simples	Formas simples.
Diseño con alta vida útil	Diseño con alta vida útil.
Diseño modular	Diseño seguro.
Diseño seguro	

4.4. Generación de nuevos conceptos de producto

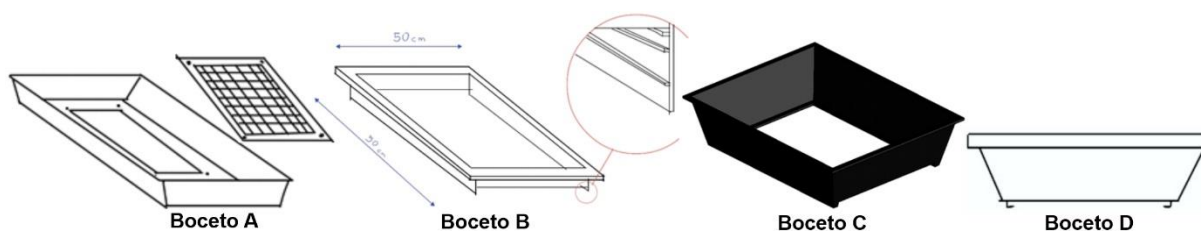
Tras la etapa anterior y teniendo en cuenta los requisitos definidos del nuevo producto, se muestran distintas soluciones conceptuales, de las cuales saldrá el diseño final (Sillero, M. J. & García, L. ,2023).

En la Figura 5 nos encontramos cuatro bocetos de los posibles diseños de las Cajas Crías. El Boceto 1, es una caja de forma cónica fabricada en PP por termoformado, corte y perforado. Las cribas son de acero e intercambiables se anexas mediante clic por las cuatro esquinas. El Boceto 2, se trata de una caja recta de PE, fabricada por inyección. Las cribas intercambiables están fabricadas por un marco de polietileno y un filtro de hilos de acero trellado. Van encajadas en la caja, sobre unos raíles que se encuentran en el interior de la misma. El Boceto 3, Se trata de una caja de forma cónica fabricada de PP por un proceso de termoformado y un posterior corte. Las cribas intercambiables van sujetas sobre la base de la caja y se introducen por una cavidad en la parte delantera. Los filtros están hechos también de PP por fundición. Y el Boceto 4, está fabricado en PP por termoformado, es una caja con

forma cónica y tiene unos raíles exteriores donde se anexionan las cribas intercambiables. Las cribas están fabricadas con un marco de PP y un filtro de fibras de polipropileno.

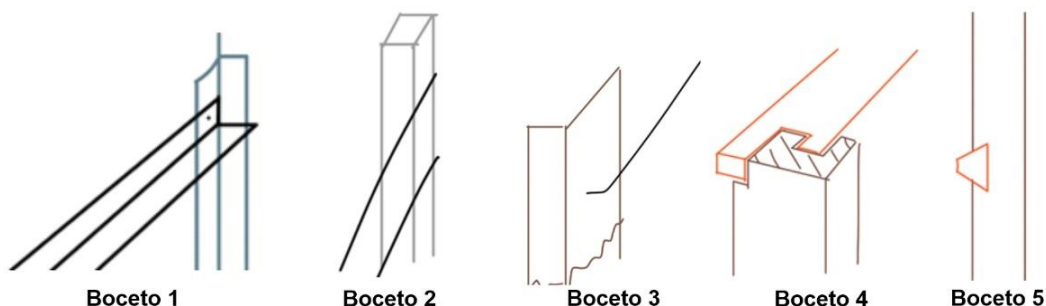
De estas ideas, tras la valoración según los criterios de la Tabla 4, se llegó a la conclusión que la mejor opción es el Boceto D (Sillero, M. J. & García, L., 2023). Ya que la caja tenga una forma cónica facilita el vaciado de guano, la separación de larvas y de las pupas de una caja a otra. Además, la base se encaja como las cajoneras, teniendo un mejor ajuste y t menos posibilidad de romperse. Los filtros de las cribas igualmente estarán fabricados con fibras de polipropileno, luego es un producto mono material.

Figura 5. Generación de ideas - Cajas de Cría. Fuente Elaboración propia



En la Figura 6, nos encontramos con los bocetos del rediseño de las “Esteras Crías”. El Boceto 1, es una estantería formada por perfiles de acero reciclado, la forma de unión es mediante pestañas recortadas sobre los lados de los perfiles. No tiene tratamiento superficial. El Boceto 2, es de acero con perfiles huecos. Los raíles son barras redondas que se unen mediante una pieza metálica encajada en una ranura. Tampoco lleva tratamiento superficial. El Boceto 3, una estantería de madera, las piezas de madera se unen entre sí por cortes hechos en las mismas sin presencia de tornillos. Los raíles son barras de acero que se introducen en unos agujeros. La madera está tratada con barniz ecológico. El Boceto 4, es integralmente de madera, las piezas se unen al ser encajadas unas con otras mediante cortes hechos en ellas. Los raíles son tablas rectas. La madera está tratada con aceite de linaza. Y el Boceto 5, también fabricada de madera. Las piezas se unen encajándolas según cortes hechos en las mismas. Los raíles son listones de sección trapezoidal, que se encajan en las columnas por un fresado hecho con la forma adecuada. Tratadas con aceite de linaza.

Figura 6. Generación de ideas - Esteras de Cría. Fuente Elaboración propia



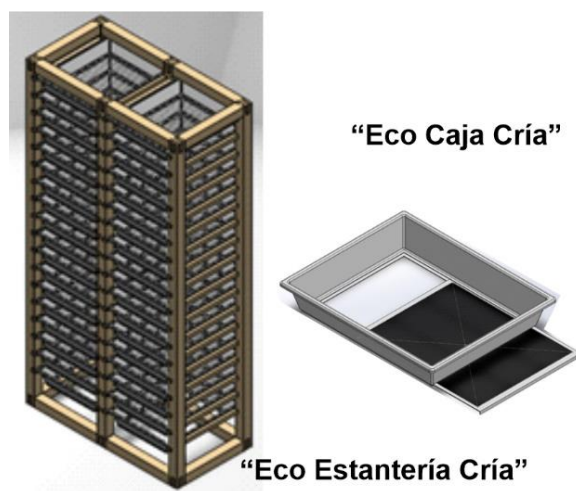
De estas ideas, tras la valoración según los criterios de la Tabla 4, se llegó a la conclusión que la mejor opción es el Boceto 5 (Sillero, M. J. & García, L., 2023), al cumplir mejor con los criterios definidos.

4.5. Diseño en detalle del “Eco Conjunto Cría”

El “Eco Conjunto Cría” (Figura 7) está conformado por una estructura de madera que hace de estantería y 36 cajas donde se alojarán las larvas en las distintas etapas de su vida. Las cajas a su vez están compuestas por una estructura general (caja sin fondo) y cribas

intercambiables según las necesidades de cría. El intercambio de estas, se hace recorriéndola por unos railes que se sitúan sobre la superficie inferior de la “Eco Caja Cría”. La caja tiene unas medidas de 55x45x9 cm (Sillero, M. J. & García, L. ,2023), ajustándonos a los criterios de ergonomía recomendados. Estas dimensiones nos permiten alojar un numero considerado de larvas en su interior y trabajar con esta caja con facilidad. El material de la estructura y de las cribas es polipropileno reciclado (que también es reciclable) y se fabricarán por termoformado. Las cribas para el guano y la de los huevos constarán de un marco y una red de filamentos de PP, unidos tras fabricación por fusión térmica. La “Eco Estantería Cría” estará compuesta por varios listones de madera. Estos listones tienen diferentes calados que le permiten unirse entre sí sin necesidad de tornillería o pegamentos. Sus dimensiones son de 111 x 55 x 220 cm. Separada en dos columnas y en cada una de ellas permite alojar 18 cajas en vertical. La madera se trata con aceite de linaza que permitirá soportar las condiciones para la cría.

Figura 7. Producto en detalle – Eco Granja Cría. Fuente Elaboración propia



4.6. Plan de Acción y Evaluación Conjunto “Eco Granja Cría”

En el Plan de Acción se abordarán aquellas medidas que se seleccionaron, pero no se han podido llevar a cabo en el diseño final (Sillero, M. J. & García, L. ,2023).

Se realizará un nuevo inventario (Tabla 5), con los datos expuestos en el apartado anterior, posteriormente se hará la Evaluación del Impacto (Figura 8) utilizando los mismos parámetros.

Tabla 5. Inventario “Eco Conjunto Cría”. Fuente Elaboración propia

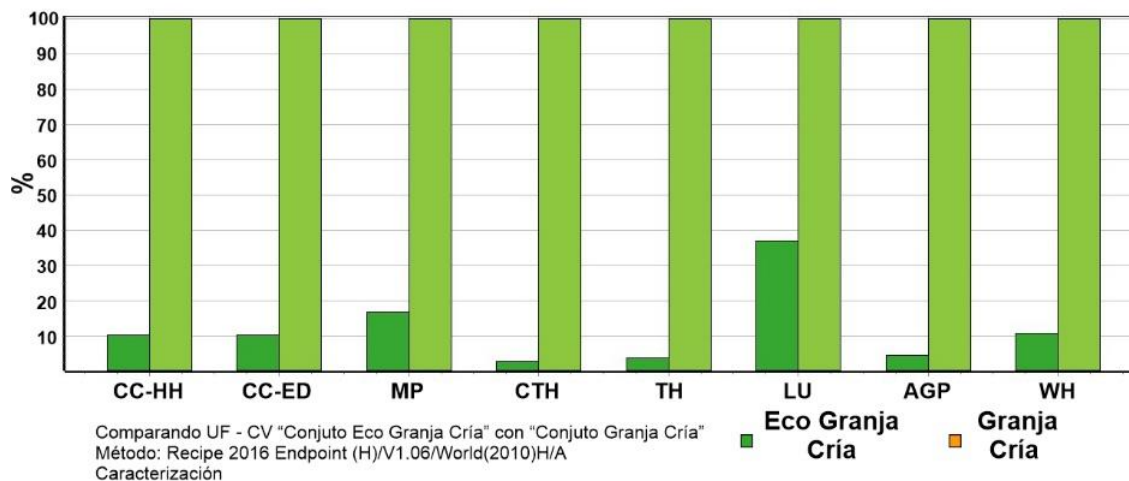
Material	kg	Pieza	Proceso
Madera	4,832	Listones estructura	Madera “ Eco Estantería Cría” *
Linaza	0,5		Aceite Linaza **
PP reciclado	0,51	Cajas	Plastic granulate, unspecified, recycled
Fabricación	Material	Proceso	
Corte	Madera	Corte Madera “Eco Estantería Cría”***	
Inyección	Polipropileno	Thermoforming of plastic sheets	

*Basado en (Sawwood, beam, hardwood, dried (u=10%), planed {Europe without Switzerland}

** Basada en la Biblioteca de SimaPro Agri-footprint 5 y Liró Ortiz, L., 1959

***Basado: (Power Saw Production without catalytic converter)

Figura 8. ACV Comparativa. Fuente Elaboración propia



Como se comprueba de los expuesto en las Figura 4 y 8, el diseño de la “Eco Granja Cría” ha mejorado el perfil ambiental en un promedio del 89%. Principalmente beneficio ha sido por el nuevo diseño de la “Cajas Crías”, tanto por el material como por el aumento de su CV.

5. Especificaciones del Sistema de Economía Circular en la una planta de cría de Tenebrio Molitor en el Polígono Manzanil II de Loja

Tal como se ha comentado, el plástico producido mensualmente en el polígono es de 7256 kg, y los gusanos consumen 0,39 mg de plástico al día, luego para eliminar todo el plástico que el polígono genera se debería procesar 241,87 kg/día. Este dato, obliga a una granja de 620 millones de larvas, que es un proyecto demasiado ambicioso, ya que se necesitaría un total de 74000 conjuntos que ocuparía una superficie de unos 45.880 m². Las parcelas de mayor tamaño disponibles en este polígono tienen una superficie de 4.000 m² aproximadamente, con una disposición de dos plantas. En cada planta, se instala una estructura independiente para doblar la superficie útil, consiguiendo así alojar 22.200 conjuntos y por tanto degradar un 30% del plástico generado.

Como el 8% de la masa de plástico ingerido, como demuestra el estudio de Wu, 2019, se convierte en guano (estiércol), se produciría por conjunto de “Eco Granja Cría” 0,26 gr al día de guano, luego la planta producirá 6 kg de estiércol/día y al mes unos 180 kg. Normalmente un saco de 50 l, es el habitual que usan como envase (de usar y tirar) en las empresas del polígono, en ellos se admite un peso de unos 19,5 kg (BigMat, s.f), luego podemos reusar unos 10 sacos para almacenar y comercializar el guano obtenido. El precio del guano de tenebrio molitor puede ascender hasta los 25€ el kg.

La vida útil de las larvas es de 6 a 7 semanas antes de convertirse en pupa, las larvas que tras ese tiempo no se han transformado se retiran y tienen dos posibles salidas. Cuando en Europa se aprueben que las lavar alimentadas con polímeros pueden alimentar a otros animales, se pueden utilizar como comida para los esturiones y truchas de la piscifactoría de Riofrío. La opción actual será analizarlas en el laboratorio que se instalará en la nave industrial y que actuará como incubadora para desarrollar este campo de investigación.

Los escarabajos a los 6 semana pierden su capacidad reproductora y se tendrán que retirar de la cadena productiva. Al igual que las larvas, su salida dependerá de la legislación.

Una vez que la legislación lo permita y tanto escarabajos como larvas puedan surtir a las piscifactorías, estas a su vez podrán vender su producto a la empresa de congelados existente en el polígono industrial.

Tras indicar las necesidades de la Granja Cría de tenebrio molitor y los subproductos, los compartimentos de la nave industrial para poder desarrollarla aparte de las oficinas y aseos para los trabajadores serán:

- Zona de carga y descarga de los camiones con los polímeros y sustancias orgánicas
- Zona almacenamiento de sustancia orgánica y pre preparado del alimento
- Zona de almacenamiento del polímero y preparado del alimento de los gusanos
- Zona de cría del gusano (instalación de los conjuntos “Eco Granja Cría”)
- Zona de envasado del guano
- Laboratorios

Luego el Sistema de Economía Circular propuesto para el Polígono Industrial (Figura 9) una vez que la instalación de la granja esté en funcionamiento (se necesitarían 2 meses previos) sería:

- Selección y formación de los operarios para la correcta cría de los gusanos
- Recogida de parte de los residuos a las distintas empresas del polígono.
- Clasificación de los residuos
- Preparación del alimento. Los polímeros pasan por una trituradora y los orgánicos se trocean. A continuación, se mezclan y se alimentan a los gusanos.
- Clasificación adecuada de escarabajos, huevos, larvas, pupa y guano
- Distribución de las salidas de nuestros subproductos.

Figura 9. Esquema de la propuesta de Economía Circular. Fuente Elaboración propia



Para un perfecto funcionamiento de la instalación se estima un número de 60 trabajadores para la recogida de residuos, limpieza y alimentación de las larvas, investigación, gestión y ventas. La viabilidad de este sistema dependería de los siguientes ingresos:

- Por recogida de residuos
- Por venta de guano
- Cuando esté permitido, por venta de larvas para alimentar a otros animales (sería el mayor ingreso 10€/kg)
- Subvenciones para mejorar la gestión de residuos tanto de gobierno central o autonómico (Junta de Andalucía, 2023)

6. Conclusiones

Para un desarrollo sostenible y cumplir con los ODS que marca las Naciones Unidas para conseguir los acuerdos de la Agenda 2030, la Economía Circular (EC) es una herramienta crucial para optimizar los recursos naturales finitos, disminuir los residuos de los distintos sectores industriales y minimizar los Impactos Ambientales. La Ley Andaluza de Economía Circular (LECA), el ecodiseño es imprescindible para lograr productos ecoeficientes a lo largo de todo su ciclo de vida y aumentar el desempeño ambiental.

Tras estudiar el desarrollo industrial de nuestro país a través de los polígonos industriales y situarnos en una ciudad con una fuerte actividad industrial, se ha propuesto un Sistema de economía circular que ha conseguido:

- Valorizar el residuo de plásticos
- Realizar logísticas más eficientes
- Disminuir en un 30% los residuos plásticos tras la salida de las empresas
- Disminuir residuos orgánicos
- Re uso de envases
- Obtener subproductos para empresas cercanas: abono y alimento cuando lo apruebe la legislación
- Incubadora en la investigación de tenebrio molitor
- Se ha diseñado un conjunto “Eco Granja Cría” sostenible basándonos en la UNE EN ISO 14040:2006 y la UNE-EN ISO 14006:2020

Bibliografía

AENOR, (2006 a). UNE-EN ISO 14040: 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia. Madrid, España.

AENOR, (2006 b). UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Madrid, España.

Alibaba (s.f.), 2022. *Papelera De Gusanos Personalizada Para Plantas De Jardín*. [Consultado el 19 de diciembre de 2022] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Customize-Worms-Bin-and-Worm-Composting-1600346104667.html>

Álvarez, D. & Botache, L., 2020. *Biodegradación de plástico con larvas del coleóptero tenebrio molitor como un aporte interdisciplinar a la biotecnología ambiental*. [TFG]. Universidad

- Pedagógica Nacional Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Biología. Bogotá D.C. Disponible en : http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/12205/Biodegradacion_de_Plastico_con_Larvas_Tm%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Andrés López, G. (2020). *Las ciudades medias industriales en España: caracterización geográfica, clasificación y tipologías*. Cuadernos Geográficos, 59(1), 99-125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8225>
- BigMat, s.f. Sustrato universal bigmat 50litros [Consultado el 23 de febrero 2023] Disponible en: <https://www.bigmat.es/es/b2c/p/tienda-de-la-construccion/sustrato-universal-bigmat-50litros-67482#:~:text=Peso%3A%2019%2C5%20Kg>.
- Cámara de Comercio de España (2018). Mapa del sector Industrial – Claves y Retos. septiembre 2018. [Consultado en 12 de febrero 2023] Disponible en: https://www.camara.es/sites/default/files/detalle/mapa_del_sector_industrial_espanol_claves_y_retos_septiembre_2018.pdf
- Capuz, S. & Gómez, T. (2002) *Ecodiseño. Ingeniería del Ciclo de Vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia
- Chávez Muñoz, J. C., Fernández Terán, R. A., Bravo Moreira, C. D., Intriago Miranda, N. M., Bello Moreira, I. P., Mendoza Cedeño, E. J., López Zambrano, C. F., & López Zambrano, P. I., 2022. *Evaluación de poliestireno expandido (EPS) y polietileno de baja densidad (PEBD) como alimento para larvas de gorgojo negro (tenebrio molitor)*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4) 2369-2384. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2762
- Catastro, 2022, *Guía de Servicios del Ayuntamiento de Loja*. [Consultado 22 de octubre 2022], disponible en: <http://www.aytoloja.org/cartadeservicios/catastro.htm>
- Corona, M. A., 2021. *Definición y planteamiento de un sistema de crianza y alimentación selectiva de Tenebrio Molitor para su futuro procesamiento como producto alimenticio no convencional* [TFG]. Mondragón de México. Disponible en: https://repo.mondragonmexico.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/182/PFG%20_%20LIDI%20_%20Definici%3%b3n%20y%20planteamiento%20de%20un%20sistema%20de%20crianza%20y%20...%20producto%20alimenticio%20no%20convencional%20_%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Daviran, P. A. ,2017. *Biodegradación de la Espuma de Poliestireno por la larva del tenebrio molitor para la producción de Abono* [TFG]. Universidad César Vallejo. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/22578/Daviran_YP.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- El DIA, 2021 (24 de febrero). *La industria del plástico genera del 30 al 40% de las emisiones*. [Consultado 03 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.eldia.es/sociedad/2021/02/24/industria-plastico-genera-30-40-35396218.html>
- Esnouf, A., Latrille, E., Steyer, J.P. & Helias, A. (2018). Representativeness of environmental impact assessment methods regarding Life Cycle Inventories. *Science of the Total Environment* 621 (2018) 1264–1271.
- España. Ley 3/2023, de 30 de marzo, de Economía Circular de Andalucía. BOJA nº 67 de 11/04/2023; página 6439/1. [Consultado 12 de abril de 2023]. Disponible en:

https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/67/BOJA23-067-00055-6439-01_00281478.pdf

Europa Press, (2020, mayo 26). *Carrefour comercializa más de 307.000 kilos de espárrago verde, un 39% más que el año pasado*. europapress.es. [Consultado 22 de noviembre de 2022]. Disponible en <https://www.europapress.es/economia/noticia-carrefour-comercializa-mas-307000-kilos-esparrago-verde-39-mas-ano-pasado-20200526153557.html>

European Network of the Heads of Environment Protection Agencies (EPA Network), (2017). *Input to the European Commission from European EPAs about monitoring progress of the transition towards a circular economy in the European Union*. Consultado en: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL-2017-EPA-network-discussion-paper-monitoring-progress-of-the-circular-economy-in-the-EU_2772_0.pdf

Galínsect, s.f., (2022, septiembre 25) *Granja de insectos | Cría y venta de tenebrio molitor*. [Consultado en 05 de octubre 2022]. Disponible en: <https://galínsect.es/>

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. De, Struijs, J.& Van Zelm, R., 2009. *ReCiPe 2008: a Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level*

Ihobe, 2017. *Oportunidades de negocio que ofrece el ecodiseño a las empresas del País Vasco*. Obtenido de: <http://www.ihobe.eus/publicaciones/oportunidades-negocio-que-ofrece-ecodisenio-a-empresas-pais-vasco>

Ihobe, 2000. *Manual práctico de ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos*. [Consultado 30 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.ihobe.eus/publicaciones/manual-practico-ecodisenio-operativa-implantacion-en-7-pasos>

INE, (2022). *Estadística Estructural de Empresas: Sector Industrial Año 2020*. Resultados definitivos. [Consultado en 15 de febrero 2023] Disponible en: https://www.ine.es/prensa/eesi_2020_d.pdf

IPCC, 2013. *Cambio climático 2013: La base de la ciencia física*. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 1535 págs.

Insectopolis, s.f (2022) *Tienda - Insectopolis*. Consultado 30 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.insectopolis.es/tienda/>

Junta de Andalucía (2023, enero 10), *La Junta concede 94 subvenciones por valor de 57,3 millones para mejorar la gestión de residuos*. Consultado 01 de mayo de 2023]. Disponible <https://www.juntadeandalucia.es/presidencia/portavoz/tierraymar/178483/JuntadeAndalucia/ConsejodeGobierno>

La Plaza Digital (2022, octubre 28). *Loja ha perdido, en nueve años, 104 empresas dedicadas a la industria, la construcción, el comercio, la hostelería y el transporte*. [Consultado 28 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://laplazadigital.es/loja-ha-perdido-en-nueve-anos-22-empresas-dedicadas-a-la->

industria/?fbclid=IwAR2Pbrev_9g2jCW6nnhO1C3rmWvWYKa6ihzZqwnrzHyFVY0rfxY
XeNfjnWE

- Liró Ortiz, L., 1959. *La linaza cultivo del lino para grano*. Ministerio de Agricultura. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1959_03.pdf
- ManoMano, s.f (2022) Granja de gusanos 4 bandejas 42x42x60 cm. [Consultado 10 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.manomano.es/catalogue/p/granja-de-gusanos-4-bandejas-42x42x60-cm-29275790>
- Molina, F., Hermosillo, M., & Flores, K. P. (2016). *Degradación de Polímeros con tenebrio molitor Segunda Fase de Investigación*. [Tesis]. Instituto Mexicano Madero.
- Naciones Unidas (ONU), 2022. El uso masivo de plástico en la agricultura afecta nuestra salud, la del suelo y la producción de alimentos. 17 de octubre 2022. [Consultado 03 de abril de 2023]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2022/10/1516177>
- Norte, E. (2022, julio 13). *Estos son los insectos autorizados para consumo humano en la UE*. El Norte de Castilla. [Consultado 22 de noviembre de 2022]. Disponible en <https://www.elnortedecastilla.es/sociedad/insectos-autorizados-consumo-20220713195703-nt.html>
- Oláh, J.; Aburumman, N.; Pop, J.; Kan, MA; Haddad, H.; Kitukutha, N., 2020 Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability. Sustainability (MDPI) 2020, 12, (11):4674. <https://doi.org/10.3390/su12114674>.
- Poveda, J., 2018. *Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (tenebrio molitor)*. Ingeniería y Región, 19(1657-6985). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6973427>
- PRé (2016) SimaPro. Introduction to LCA with SimaPro. Holanda. PRé
- Proteinsecta, s.f., (2022, 27 junio). *Consultoría para la Creación de Granjas de Insectos*. [Consultado el 5 de octubre de 2022] Disponible en: <https://proteinsecta.es/>
- Sillero, M. J. & García, L. (2023). *Sistema de Economía Circular por medio de una Granja de tenebrio molitor* en Polígono Manzanil II. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Málaga.
- Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA), 2023. Andalucía Pueblo a Pueblo- Fichas municipales. [Consultado 28 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=18122>
- Telemadrid, (2022, 7 marzo). *Así es por dentro una granja que cría insectos para consumo animal y, en el futuro, humano*. <https://www.telemadrid.es/programas/buenos-dias-madrid/dentro-granja-insectos-consumo-animal-2-2430076983--20220307114246.html>
- Topinsect, 2022. Gusanos de la harina. (s.f.). [Consultado 22 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.topinsect.net/m/Gusanosdeharina-5p23.php>
- Visco, A.; Scolaro, C.; Facchin, M.; Brahim, S.; Belhamdi, H.; Gatto, V.; Beghetto, V. *Agri-Food Wastes for Bioplastics: European Prospective on Possible Applications in Their Second Life for a Circular Economy*. Polymers 2022, 14, 2752. <https://doi.org/10.3390/polym14132752>

Wikiwand s.f, *tenebrio molitor*. Recuperado 19 de octubre de 2022, de https://www.wikiwand.com/es/Tenebrio_molitor

Wu, W. (2019). *Fate of Hexabromocyclododecane (HBCD), A Common Flame Retardant, In Polystyrene-Degrading Mealworms: Elevated HBCD Levels in Egested Polymer but No Bioaccumulation*. *Environmental Science & Technology*, 54(1), 364-371. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b06501>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

