



Facultad de Administración y Dirección de Empresas

Trabajo de
fin de grado

Diseño de un sistema de inteligencia de negocios (BI) para medir la economía circular en una explotación ganadera

Raquel Rosón Sánchez

Julio 2024

Trabajo de Fin de Grado presentado en la Facultad de Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Santiago de Compostela para la obtención del Grado en Empresa y Tecnología

Resumen

La economía circular establece un modelo de producción y consumo más sostenible, que permite hacer frente a algunas de las principales problemáticas actuales, como un mayor consumo de materias primas junto con la escasez de recursos, el crecimiento de la demanda debido al aumento de la población mundial y el impacto climático. Ante esta situación, es necesaria la transformación del modelo lineal tradicional a la economía circular. El sector agroalimentario y dentro de este, en especial, la ganadería es parte de las industrias más contaminantes. Dentro de este ámbito, ya existen esfuerzos a nivel de la Unión Europea y que podemos ver reflejados en las explotaciones ganaderas gallegas, a través del control del impacto de la huella de carbono y del agua. También se incluye el tratamiento y mantención de diferentes residuos generados durante la producción, como purines o similares, lactosuero, residuos sólidos y líquidos de los mataderos, etc. Sin embargo, la implementación efectiva de este modelo en explotaciones ganaderas cuenta con importantes desafíos, especialmente en cuanto a medición y seguimiento de su eficacia e impacto.

El objetivo del presente trabajo es el diseño de un sistema de inteligencia de negocios (BI o Business Intelligence) que permita apoyar la introducción y desarrollo de este 'nuevo' modelo productivo, ayudando a la toma de decisiones informadas y a la medición y análisis de la economía circular dentro de las explotaciones ganaderas gallegas. Para ello, se realizará un análisis bibliográfico sobre el estado de implementación de la economía circular en las explotaciones ganaderas de Galicia. Posteriormente, se hará uso de técnicas de minería de datos para extraer conocimiento de estudios previos realizados sobre los sistemas de producción en granjas del entorno, conocimiento que será usado en el desarrollo de la aplicación BI.

Número de palabras del trabajo: 11.802

Índice

Resumen	2
Índice	3
Índice de abreviaturas.....	5
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	6
Introducción.....	7
Planificación.....	9
Desarrollo del trabajo	10
1 Marco conceptual.....	10
1.1 Economía circular.....	10
1.1.1 Definición y principios de la economía circular.....	10
1.1.2 Beneficios y desafíos de la economía circular.....	14
1.1.3 Aplicación de la economía circular en una explotación ganadera.....	16
1.2 Inteligencia de negocios (Business Intelligence).....	18
1.2.1 Definición y características de la Inteligencia de negocios.....	18
1.2.2 Usos de las herramientas de Inteligencia de negocios.....	21
1.2.3 Beneficios de la Inteligencia de negocios.....	22
2 Economía circular en las explotaciones ganaderas gallegas.....	23
2.1 Prácticas de economía circular en explotaciones ganaderas en Galicia...23	
2.2 Desafíos de la economía circular en las explotaciones ganaderas en Galicia.....	26

2.3	Comparación con la situación de las explotaciones ganaderas europeas.....	28
3	Diseño del sistema de BI para medir la economía circular.....	31
3.1	Planificación del sistema BI.....	31
3.2	Identificación de indicadores clave de desempeño (KPIs) para la economía circular.....	34
3.3	Aplicación de técnicas de minería de datos para la identificación de KPIs.....	36
3.4	Selección de herramientas y tecnologías para el sistema BI.....	40
3.4.1	Papel de las tecnologías Big Data en un sistema BI.....	45
	Conclusiones, limitaciones y ampliación.....	47
	Bibliografía.....	49
	Anexo I.....	56
	Anexo II.....	60

Índice de abreviaturas

BI: Business Intelligence o Inteligencia de negocios

ETL: Extract, Transform, Load (Extraer, transformar, cargar)

GEI: Gases de Efecto Invernadero

IA: Inteligencia Artificial

I+D: Investigación y desarrollo

IGE: Instituto Gallego de Estadística

INE: Instituto Nacional de Estadística

KGI: Key Goal Indicator (Indicador clave de meta)

KPI: Key Performance Indicator (Indicador clave de desempeño)

N: Nitrógeno

PIB: Producto Interior Bruto

PYMES: Pequeñas y Medianas Empresas

Índice de tablas

TABLA 1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DE UNA EXPLOTACIÓN GANADERA..	34
TABLA 2 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PURINES	36
TABLA 3 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL LACTOSUERO	36
TABLA 4 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO FINALES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PURINES	39
TABLA 5 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO FINALES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL LACTOSUERO	40
TABLA 6 RELACIÓN DE TENENCIA DE COMPONENTES DE CADA HERRAMIENTA.....	42
TABLA 7 RELACIÓN DE TENENCIA DE CARACTERÍSTICAS DE CADA HERRAMIENTA	44

Índice de figuras

FIGURA 1 DE UNA ECONOMÍA LINEAL A UNA CIRCULAR.....	11
FIGURA 2 EL DIAGRAMA DE LA MARIPOSA: VISUALIZANDO LA ECONOMÍA CIRCULAR	12
FIGURA 3 ARQUITECTURA GENÉRICA DE UN SISTEMA BI	19
FIGURA 4 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO	24
FIGURA 5 IMPLANTACIÓN COMPLETA DE PRÁCTICAS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN UNA EXPLOTACIÓN GANADERA LÁCTEA.....	32
FIGURA 6 PROCESO CIRCULAR DE LOS PURINES	33
FIGURA 7 PROCESO CIRCULAR DEL LACTOSUERO.....	34
FIGURA 8 PROCESO DEL MODELO DE ESTIMACIÓN LINEAL DE 'RENDIMIENTO' EN RAPIDMINER	37
FIGURA 9 PROCESO DEL CLASIFICADOR CUATERNARIO EN RAPIDMINER.....	38

Introducción

En los últimos años, ha habido una creciente preocupación por la situación medioambiental en nuestra sociedad, junto con otras problemáticas relacionadas con la economía, demografía y sostenibilidad. De esta forma, la gestión sostenible de los recursos se ha convertido en un imperativo para abordar estos desafíos. Ante esta situación, nuevos modelos productivos y de consumo, antagónicos a los tradicionales, están empezando a asentarse como pilares fundamentales, permitiendo reducir, reutilizar y reciclar al máximo los recursos.

En el año 2022, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) marcaba las cadenas de suministro de ganado como las emisoras del 14,5% del total global de gases de efecto invernadero (GEI). Además, la misma organización afirma que la ejecución de mejores prácticas de gestión podría reducir las emisiones de los sistemas ganaderos en aproximadamente un 30%. Por ello, en el sector ganadero es necesaria la implementación, no solo de prácticas más sostenibles y menos contaminantes.

En este contexto, la implantación de modelos como la economía circular en sectores clave, como el agropecuario, permite afrontar el reto de maximización de su productividad a la vez que mitiga su impacto ambiental. Sin embargo, a nivel práctico, la aplicación de este modelo precisa herramientas que posibiliten la medición de su desempeño y de su impacto.

La aplicación de Inteligencia de Negocios o Business Intelligence en este escenario permite integrar, analizar y visualizar volúmenes de datos de gran tamaño y fuentes diversas, facilitando y promoviendo la adopción de prácticas más sostenibles, permitiendo tener una visión general del uso eficiente de recursos, la gestión de desechos y la optimización de los ciclos de producción.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema de inteligencia de negocio que permita la medición de la economía circular en explotaciones ganaderas, otorgando a estas una herramienta que mejore la eficiencia operativa y promueva prácticas más sostenibles. De esta

forma, se busca ayudar a estas explotaciones en la toma de decisiones informadas, dirigidas a realizar un proceso productivo más sostenible y eficiente.

Entre los objetivos específicos del trabajo están:

- Estudio de métodos y conceptos relacionados con Business Intelligence para su posterior aplicación en el diseño del sistema.
- Investigación y comprensión de los principios fundamentales de la economía circular para su posterior aplicación en el planteamiento y diseño del sistema.
- Implementación ETL (Extract, Transform, Load) dentro del sistema para garantizar que la información contenida en las fuentes de datos esté correctamente recopilada y actualizada.
- Aplicación de técnicas de minería de datos sobre los datos recogidos que permitan identificar aquellos indicadores clave de desempeño que mejor recogen el impacto de la incorporación de la economía circular al modelo productivo.
- Búsqueda de posibilidades existentes de integración con orígenes o destinos de datos.
- Diseño un sistema de inteligencia de negocio, que permita un análisis correcto de los datos recogidos de forma más sencilla e intuitiva.

Para la consecución de los objetivos, en una primera parte se elaborará un marco conceptual y un análisis de la situación de las explotaciones ganaderas, en concreto las de Galicia y, a modo de comparativa, las de Europa, a través de un estudio de la literatura y revisión de información gubernamental y organizacional de diferentes países y granjas. A continuación, ya dentro del diseño del sistema de inteligencia de negocios, se eligen los procesos concretos en los que se va a centrar el diseño para la medición de la economía circular. En base a estos procesos, se realiza una selección de indicadores clave de desempeño, a través de una revisión de literatura especializada, así como a través de la aplicación de minería de datos para tener en cuenta el impacto en el rendimiento de la explotación de estos indicadores. Por último y para completar el diseño del sistema BI, se seleccionan las herramientas que se van a utilizar, tanto para analítica descriptiva -como OLAP y reporting- como para analítica predictiva -como minería de datos y aprendizaje automático-.

Planificación

16 de diciembre a 31 de enero	Búsqueda y lectura de bibliografía e inicio de la elaboración del marco conceptual
31 de enero	<u>1ª reunión</u> Concreción de tema y resumen del trabajo y planificación de las actividades a realizar
1 de febrero a 26 de marzo	Estudio y elaboración del marco conceptual de la economía circular y la inteligencia de negocio y su aplicación a las explotaciones ganaderas gallegas
27 de marzo a 15 de abril	Planificación del sistema de inteligencia de negocios y elaboración de una preselección de indicadores clave para la medición de la economía circular
16 de abril	<u>2ª reunión</u> Examen del avance del apartado 'Diseño del sistema BI para medir la economía circular' y examen de factores a tener en cuenta para la viabilidad y eficiencia del BI
17 de abril a 11 de junio	Elección de KPIs y aplicación de técnicas de minería de datos
11 de junio	<u>3ª reunión</u> Examen del estado de desarrollo del sistema BI y resolución de problemáticas relativas a la aplicación de técnicas de minería de datos
11 de junio a 1 de julio	Finalización del diseño del sistema de BI y formateo y revisión del trabajo

Desarrollo del trabajo

1 Marco conceptual

1.1 Economía circular

1.1.1 Definición y principios de la economía circular

La economía circular es un modelo económico basado, entre otras cosas, en compartir, alquilar, reutilizar, reparar, reacondicionamiento y reciclaje, en un circuito casi cerrado, cuyo objetivo es conservar la máxima utilidad y valor de los productos, componentes y materiales en todo momento (Bourguignon, 2016).

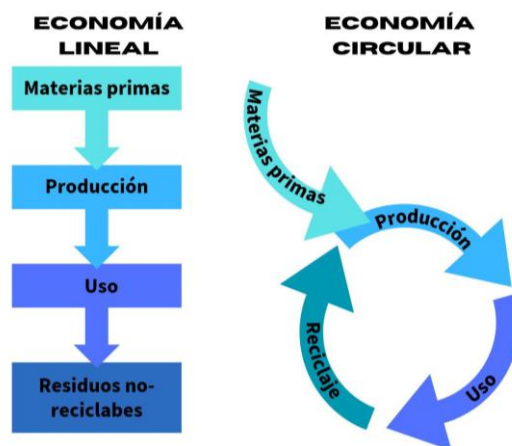
Desde la era de la Revolución Industrial, el sustento de nuestro modelo de crecimiento y el sistema de bienestar de nuestras sociedades ha estado arraigado en la utilización de diversos recursos naturales. Estos, una vez transformados en la cadena de producción e incorporados en la cadena de consumo, terminan como residuos, destinados principalmente a los vertederos. Este enfoque, conocido como economía lineal, se caracteriza por la secuencia de extraer, producir, consumir y desechar.

Este modelo económico subyacente ha dado lugar a una serie de desafíos medioambientales: el compromiso de la capacidad de asimilación de recursos como el aire, el agua y el suelo debido al uso indiscriminado de recursos; la acumulación de residuos sin un manejo adecuado; la deforestación y destrucción de hábitats debido a la explotación excesiva de recursos renovables; las emisiones de gases de efecto invernadero por el depósito de residuos en vertederos; y el agotamiento de recursos no renovables.

Delimitada la insostenibilidad del actual modelo lineal como modelo de desarrollo económico dominante, se ve la necesidad de transaccionar a un modelo de desarrollo y crecimiento que permita optimizar la utilización de los recursos, materias, productos y servicios disponibles manteniendo su valor en el conjunto de la economía durante el mayor tiempo posible y en el

que se reduzca al mínimo la generación de residuos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2018).

Figura 1 De una economía lineal a una circular



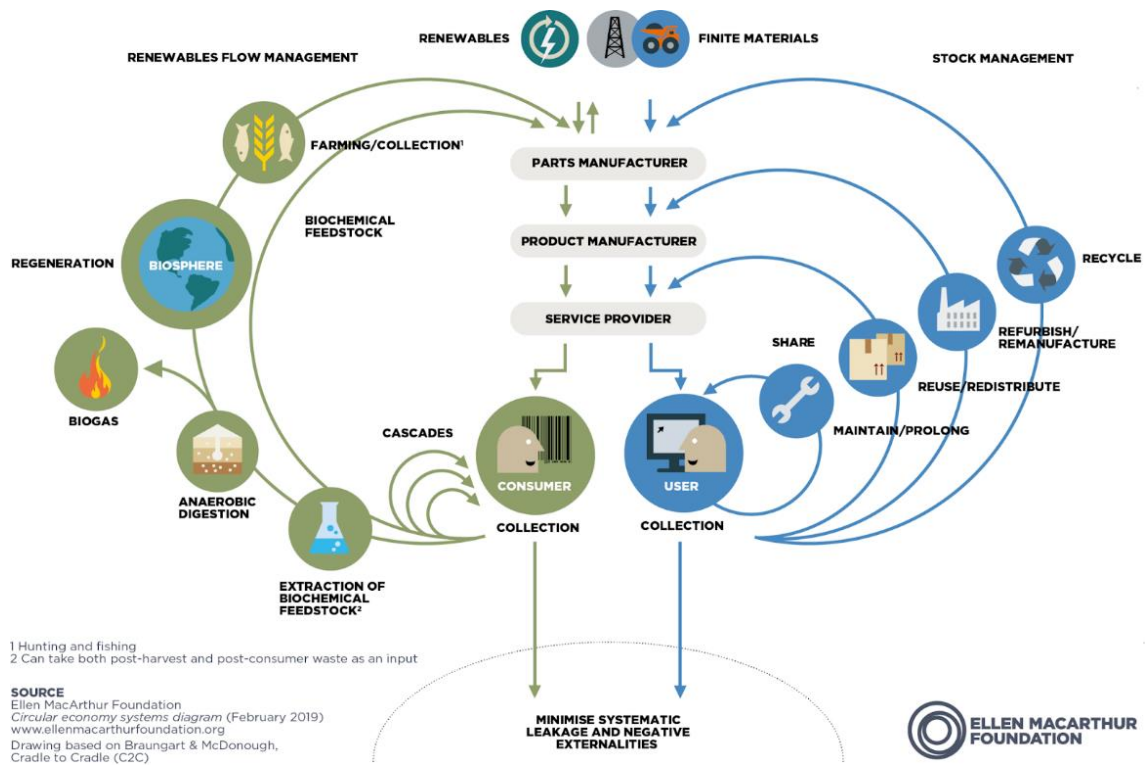
Fuente: Elaboración propia a partir de Ministry of Infrastructure and the Environment, 2016

El modelo de producción y consumo que supone un cambio de paradigma, pasando del concepto de 'caducidad' al de 'conservación', es restaurador o regenerativo. De esta forma, se desplaza hacia el uso de energías renovables, elimina el uso de sustancias y productos químicos tóxicos y busca la valorización de los residuos mediante un diseño optimizado de materiales, productos y sistemas (Gobierno de España, 2023).

El concepto de economía circular se refiere generalmente a un modelo el que los productos y los materiales que se encuentran en él tienen un alto valor. Este modelo de producción y consumo se basa en dos bucles complementarios inspirados en dos ciclos principales: el ciclo técnico y el ciclo biológico. En ambos casos, el objetivo es limitar al máximo la fuga de recursos.

El diagrama del sistema de economía circular, o diagrama de mariposa representa este concepto y muestra los dos ciclos: el ciclo técnico y el ciclo biológico. En el ciclo técnico, los productos y materiales se mantienen en circulación a través de procesos como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. En el ciclo biológico, los nutrientes de los materiales biodegradables se devuelven a la Tierra para regenerar la naturaleza (Ellen MacArthur Foundation, n.d.). Este modelo se puede representar gráficamente ilustrando el flujo continuo de materiales en una economía circular.

Figura 2 El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular



Fuente: Ellen MacArthur Foundation

A la izquierda del diagrama de la mariposa se encuentra el ciclo biológico, que corresponde a los materiales que pueden biodegradarse y volver a la tierra de forma segura. Este ciclo se refiere principalmente a los productos que se consumen, como los alimentos. Sin embargo, otros materiales biodegradables, como el algodón o la madera, pueden acabar pasando del ciclo técnico al biológico una vez que se han degradado hasta un punto en el que ya no pueden utilizarse para fabricar nuevos productos.

Algunos de los conceptos y prácticas que se incluyen en este ciclo son los siguientes (Ellen MacArthur Foundation, n.d.):

- **Regeneración:** en lugar de degradar continuamente la naturaleza, como hacemos en la economía lineal, en la economía circular construimos capital natural, empleando prácticas que permiten a la naturaleza reconstruir los suelos y aumentar la biodiversidad.
- **Agricultura:** los agricultores pueden utilizar la agricultura regenerativa, la acuicultura restaurativa, la agroecología, la agrosilvicultura y la agricultura de conservación, para ayudarles a aplicar el conjunto de prácticas más adecuado para impulsar resultados regenerativos en sus explotaciones. Estos resultados incluyen, entre otros, suelos sanos

y estables, mayor biodiversidad local, mejor calidad del aire y del agua y mayor almacenamiento de carbono en el suelo.

- Compostaje y digestión anaeróbica: el compostaje puede utilizarse para transformar subproductos alimentarios y otros materiales biodegradables en compost, que puede utilizarse como mejorador del suelo, devolviendo materiales valiosos a las tierras de cultivo en lugar de fertilizantes artificiales. La digestión anaeróbica es otra forma de recuperar los materiales presentes en los residuos orgánicos. El biogás puede producirse a partir de ambos y utilizarse como fuente de energía similar al gas natural.
- Cascadas: Estos bucles del ciclo biológico aprovechan productos y materiales ya existentes en la economía. Cuando los productos o materiales ya no pueden utilizarse, pasan a los bucles exteriores del ciclo biológico, donde se devuelven al suelo.
- Extracción de materias primas bioquímicas: Tomando como materia prima tanto materiales biológicos postcosecha como posconsumo, este paso implica el uso de biorrefinerías para producir productos químicos de bajo volumen, pero de alto valor.

En el lado derecho del diagrama de mariposa se encuentra el ciclo técnico, relevante para los productos que se utilizan en lugar de consumirse. Se centra en las distintas fases del ciclo técnico y representa cómo cada una de ellas permite que los materiales sigan utilizándose en lugar de convertirse en residuos.

El diagrama muestra que los bucles internos más pequeños están rodeados por los bucles externos más grandes. En estos bucles internos es donde se puede capturar más valor porque retienen una mayor cantidad de valor incorporado de un producto al mantenerlo entero. Por lo tanto, los bucles internos como compartir, mantener y reutilizar deben priorizarse sobre los bucles externos. Estos bucles también suponen un ahorro de costes para los clientes y las empresas, ya que aprovechan productos y materiales que ya están en circulación. El bucle más externo, el reciclaje, es por tanto la etapa de último recurso en una economía circular porque significa perder el valor incorporado de un producto al reducirlo a sus materiales básicos.

Algunos de los conceptos y prácticas que se incluyen en este ciclo son los siguientes (Ellen MacArthur Foundation, n.d.):

- Compartir: Aunque no es apropiado para todos los productos de la economía, tiene el poder de aumentar drásticamente la utilización de muchos de ellos.

- **Mantener:** Otra forma de maximizar el valor de un producto es prolongar su vida útil. El mantenimiento es una forma importante de mantener la calidad de los productos y evitar que se estropeen o deterioren.
- **Reutilizar:** Mantiene los productos en uso en su forma original y para su finalidad original.
- **Redistribuir:** La redistribución es otra forma de mantener los productos en uso y evitar que se conviertan en residuos. Al desviar los productos de su mercado de destino a otro cliente, se les da un uso rentable.
- **Reacondicionar:** Devolver el buen estado de funcionamiento a los productos es una forma de devolverles su valor. Esto puede incluir la reparación o sustitución de componentes, la actualización de especificaciones y la mejora del aspecto estético.
- **Remanufacturar:** Esto se hace cuando los productos no pueden permanecer en circulación en su estado actual y necesitan un tratamiento más intensivo para volver a utilizarse. La refabricación consiste en rediseñar productos y componentes para dejarlos como nuevos, con el mismo nivel de rendimiento que los de nueva fabricación, o incluso mejorado.
- **Reciclar:** El último paso del ciclo técnico es el reciclado. Se realiza cuando un producto ya no se puede utilizar y no se puede renovar o refabricar, o no es apto para esas fases. Es la última forma de mantener en uso los materiales con los que se fabricó el producto para que no se conviertan en residuos.

En consecuencia, podemos decir que la economía circular es un marco de soluciones sistemáticas que hace frente a desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación. Para ellos, se basa en tres principios básicos (Ellen MacArthur Foundation, n.d.):

- Eliminar los residuos y la contaminación.
- Circular los productos y materiales.
- Regenerar la naturaleza.

1.1.2 Beneficios y desafíos de la economía circular

La aplicación de una economía tiene numerosos beneficios. Entre ellos cabe destacar:

- **Protección del medioambiente:** unas de las principales problemáticas del sistema productivo y de consumo lineal que prima actualmente es la pérdida de biodiversidad y la sobreexplotación de recursos a un ritmo superior al de regeneración de estos. En

contraste, el sistema circular permitiría reducir el impacto ambiental, tanto de la producción como del consumo (Parlamento Europeo, 2023).

- Reducción de la dependencia de las materias primas: en la actualidad, existe un aumento de la demanda de materias primas y una escasez de recursos. Esto se ve potenciado por el uso de materias primas finitas y el aumento de la demanda como consecuencia del crecimiento de la población mundial. En este ámbito también hay que tener en cuenta la existencia de fuertes dependencias entre países (Parlamento Europeo, 2023).
- Creación de empleo y ahorro económico para los consumidores: la transición hacia una economía más circular podría aumentar la competitividad, fomentar la innovación, impulsar el crecimiento económico y crear nuevas oportunidades laborales. Según datos de la Unión Europea, este modelo aumentaría la productividad de los recursos en un 30%, incrementaría el PIB en un 0,8% y crearía dos millones de nuevos puestos de trabajo en la totalidad de esta (Parlamento Europeo, 2023).
- Reducción de costes para las empresas: la reutilización de materias primas que implica este nuevo paradigma ayudaría a las empresas a reducir los costes de materiales entre un 12% y un 23% de su total. Además, también se vería reflejado en ahorro energético de entre el 20% y el 90%, así como un importante ahorro de agua (Parlamento Europeo, 2018).

A nivel general, existen una serie de desafíos comunes a todos los sectores y relacionados con el sistema en general en cuanto a la transformación al modelo de producción y consumo que supone la economía circular (Bourguignon, 2016):

- Financiación: la transición de una economía lineal a una circular conlleva unos costes considerables, entre los que se encuentran inversiones en I+D, pago de subvenciones para la promoción de nuevos modelos de negocio e inversión pública en gestión de residuos e infraestructura. En el caso de las pequeñas y medianas empresas (PYMES), este coste se considera una de las principales barreras de adopción de prácticas más sostenibles.
- Facilitadores económicos clave: existe la falta de una serie de facilitadores económicos clave, como sistemas de fijación de precios que fomenten la utilización eficiente de los recursos y reflejen plenamente los costes medioambientales; incentivos para la colaboración entre productores y recicladores buscando mejorar el rendimiento dentro y a través de cadenas de valor específicas; y mercados de materias primas secundarias.

- **Habilidades:** una economía circular requeriría habilidades técnicas que actualmente o no están presentes en la mano de obra o lo están a niveles bajos. Estas habilidades permitirían a las empresas, por ejemplo, diseñar productos con la circularidad en mente. Esta falta afectaría especialmente a las PYMES.
- **Comportamiento de los consumidores y modelos de negocio:** el cambio de paradigma tendría que ir acompañado de cambios sistemáticos en el comportamiento de los consumidores, especialmente en el comportamiento cotidiano, en términos de clasificación de desperdicios y desechos alimenticios, por ejemplo. Muchas industrias se basan actualmente en una rápida rotación impulsada por las modas (normalizada por el 'fast fashion' o moda rápida). Existe un desconocimiento general por parte de empresas y consumidores sobre los potenciales beneficios de la economía circular y estos tienden a mostrarse reacios a adoptar nuevos modelos de negocio (por ejemplo, el arrendamiento financiero en lugar de la propiedad).
- **Gobernanza multinivel:** de forma destacada a nivel de la Unión Europea, la transición precisaría medidas a diferentes niveles y ámbitos políticos. Actualmente existen destacables esfuerzos legislativos, pero no se ven respaldados por una aplicación práctica del modelo circular.

1.1.3 Aplicación de la economía circular en una explotación ganadera

Tal y como se indica en el Componente 3 del Plan de Transformación y Resiliencia, el sector agroalimentario cuenta con un fuerte carácter estratégico, a nivel alimentario, demográfico y de equilibrio de la balanza comercial. Este sector debe seguir transformándose y adaptándose para responder a los retos de la globalización, de la digitalización y del cambio climático y para atender a las necesidades de una población cada vez más concienciada con la producción sostenible y la calidad de los alimentos (Gobierno de España, 2023).

Dentro de este ámbito, la modernización y adaptación de la ganadería al nuevo paradigma no es una tarea sencilla, pero existen prácticas y soluciones para resolver esta problemática y consisten en utilizar modelos de la economía circular. Algunas de ellas son las desarrolladas a continuación (Capsa Vida, 2020).

Una de las aplicaciones más básicas de la economía circular es el uso eficiente de los recursos, a través del aprovechamiento de residuos agrícolas y el reciclaje de nutrientes. El aprovechamiento de los residuos agrícolas supone el uso de subproductos agrícolas para

disminuir la presión sobre los recursos naturales y reducir la dependencia de los piensos convencionales. Por ejemplo, el uso de restos de cultivos de invernadero o de bagazo (materia rica en proteína y fibra, subproducto de la producción de cerveza), que además de reutilizar residuos productivos, afectan positivamente a la calidad de la leche al emplearse como piensos o componente de ellos (Molina, 2022). Por otro lado, el reciclaje de nutrientes supone la implementación de sistemas que capturen y reciclen los nutrientes presentes en los excrementos de animales como fertilizantes en la agricultura, reduciendo el uso de fertilizantes químicos, que pueden generar infertilidad de los suelos o contaminar aguas subterráneas, entre otros.

Otra de las aplicaciones de la economía circular en este ámbito se centra en la producción sostenible de alimento para los animales, haciendo uso de cultivos alternativos y del manejo de residuos alimentarios. El primero supone el uso de cultivos más resistentes a los cambios climáticos. El segundo, altamente presente en una de las potencias de la agricultura como es Holanda, hace uso de alimentos excedentes o subproductos de la industria alimentaria (Calero, 2018). En este ámbito también se hace uso de la rotación de cultivos y pastoreo, buscando reducir la presión sobre los recursos naturales y mejorando el aprovechamiento del suelo.

Las energías renovables también suponen un pilar fundamental en la transición a este nuevo modelo productivo y de consumo. Dentro de la ganadería se ve ejemplificado a través del uso de paneles solares o plantas de generación de biogás a partir de residuos orgánicos, que permiten en algunos casos cubrir los costes energéticos de estas explotaciones. Además, la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones, a través de iluminación eficiente o calefacción y refrigeración optimizada aportan a este objetivo. Un ejemplo de esto son algunas de las granjas pertenecientes al grupo Van Asten, que hacen uso de estas prácticas (Calero, 2018).

La gestión eficiente del agua, también presente en la industria láctea holandesa, supone la utilización de sistemas de gestión del agua, buscando minimizar el desperdicio. Para ello, se emplea la recogida de agua y filtración de agua de lluvia, así como la utilización del agua utilizada en la limpieza de estas granjas para el riego (de Wit et al., 2016).

También hay que indicar, que la aplicación de la economía circular en las explotaciones ganaderas también incluye otros elementos como las cadenas de suministro. En este ámbito,

los esfuerzos se centran en la utilización de envases y materiales de embalajes sostenibles y en la utilización de cadenas de suministro locales, favoreciendo el consumo de productos locales.

1.2 Inteligencia de negocios (Business Intelligence)

1.2.1 Definición y características de la Inteligencia de negocios

El término Business Intelligence (BI por sus siglas en inglés o Inteligencia de negocios) se refiere al uso de estrategias, herramientas, infraestructura, analíticas de negocio, minería y visualización de datos para ayudar a las organizaciones a transformar información en conocimiento. En este sentido, el BI combina información interna y externa de diversa procedencia, para procesarla, analizarla y tomar decisiones bien informadas (SimDataGroup, 2022). Es decir, su principal objetivo es convertir datos en información significativa y útil que permita ayudar a las empresas y organizaciones a comprender su desempeño, identificar tendencias, tomar decisiones estratégicas y mejorar sus operaciones.

El concepto de inteligencia de negocios no es nuevo, sino que fue acuñado en el año 1865 por el autor americano Richard Miller Devens. Este autor hace referencia, en la era predigital, a la recolección, análisis y uso de información para la determinación de la mejor forma de proceder. No fue hasta los años 50, durante los albores de la Revolución Digital, cuando el BI se convirtió en un proceso científico independiente adoptado por los empresarios para fundamentar sus estrategias empresariales.

En la década de 1960-1970 se comenzaron a utilizar los sistemas de procesamiento de datos en empresas y nacieron proveedores de BI, haciendo que estas herramientas se volvieran relativamente más accesibles. En la década siguiente, 1980, se continuaron desarrollando diferentes elementos de la inteligencia de negocios, alcanzando herramientas capaces de analizar y generar informes sobre datos.

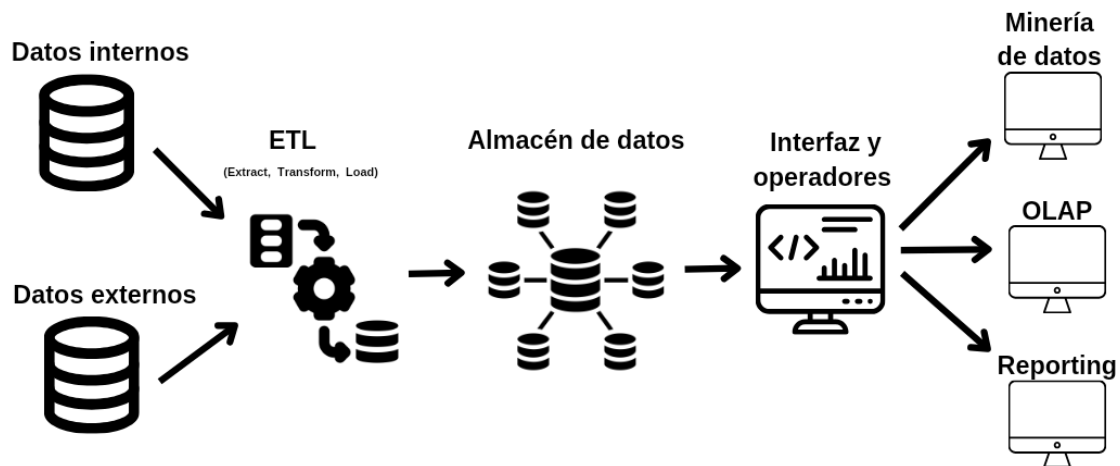
En la década de 1990, el Business Intelligence entra en el ámbito empresarial general y las técnicas se vuelven comercializables mediante el uso de procesamiento por lotes. Entre esta década y los años dos mil, los servicios de BI empezaron a ofrecer herramientas simplificadas que permitían a los responsables de la toma de decisiones ser más independientes. Además, en esta década del 2000 las herramientas también se volvieron más eficientes y proporcionan la funcionalidad que se necesitaba.

En los últimos años, el análisis predictivo, las tecnologías en la nube y el comercio electrónico han sido elementos transformadores de la Inteligencia de negocios, así como nuevas oportunidades de crecimiento para estas herramientas. En la actualidad, estas herramientas de BI son el estándar para empresas medianas o grandes en todas o la mayoría de sus áreas de trabajo. Además, estas herramientas se han vuelto multiplataforma y se continúa procurando que sean los más intuitivas posible (Lago, 2018). Para el futuro relativamente cercano las intenciones de adaptación se centran en la adopción de inteligencia artificial (IA) y la automatización de los procesos de toma de decisiones.

Es importante tener en cuenta que el BI no es una única tecnología, sino que es un conjunto de tecnologías, procesos y herramientas que permiten recopilar, almacenar, analizar y visualizar datos para tomar decisiones informadas.

De forma general, los sistemas de inteligencia de negocios cuentan con una serie de componentes y procesos, entre los que se encuentran: las fuentes de datos, el proceso ETL, el almacenaje de datos, la interfaz y operadores y herramientas para el apoyo a la toma de decisiones. Estos se ven representados en el siguiente gráfico.

Figura 3 Arquitectura genérica de un sistema BI



Fuente: Elaboración propia

El primer componente de una solución de BI son las fuentes de datos, es decir, el conjunto de datos recopilados por la organización para alimentar el almacén de datos y, posteriormente,

llevar a cabo tareas de análisis y filtrado. Estos datos pueden ser internos o propios de la empresa o externos o ajenos a la empresa.

A continuación, se encuentra el proceso ETL (Extract, Transform, Load). Este se centra en la migración de información de las fuentes de datos hacia el almacén de datos. Su prioridad es la carga de datos integral y consistente, por lo que debe conciliar, limpiar, formatear e integrar con rigurosidad los datos obtenidos de las fuentes.

Como salida de este proceso ETL se encuentra el siguiente componente, el almacén de datos o data warehouse. Se define como una base de datos integral que consolida, estandariza y almacena datos actuales e históricos de potencial interés para la toma de decisiones. Estos datos almacenados son conectados con las herramientas de toma de decisiones a través de una interfaz y operadores, que permiten un acceso a la información más sencillo, visual y didáctico (Silva Solano, 2017, 29-30).

Como indica Silva Solano en la revista INNOVAG (2017), entre las herramientas de toma de decisiones cabe destacar los siguientes:

- Proceso OLAP (Online Analytical Processing o Procesamiento analítico en línea). Este proceso es utilizado para formular consultas de información, asimismo para tener una visualización de bases de datos multidimensionales y apoyar la exploración interactiva de dichos conjuntos de datos.
- Minería de datos o Data Mining. Este proceso se enfoca en identificar patrones, reglas y tendencias contenidas en la información. Además, permite al usuario identificar, dentro de un gran volumen de datos, aspectos específicos que expongan amenazas y oportunidades presentes en el desempeño de la empresa u organización.
- Reporting. Este proceso consiste en la elaboración de informes y consultas a detalle sobre temas específicos de un área. Se busca que la elaboración de reportes esté gestionada sobre la base de datos desarrollada y coeficientes de gestión que los directivos definan según las dimensiones de negocio que consideren relevantes.

En base a lo anterior, la inteligencia de negocios cuenta con una serie de características (García Herrera, 2019):

- Accesibilidad a la información: Pleno acceso a los datos, puesto que estos son la fuente principal del concepto de Inteligencia de negocios. Estas herramientas y técnicas deben

garantizar el acceso de los usuarios a los datos con independencia de la procedencia de estos.

- Apoyo a la toma de decisiones: busca que los usuarios tengan acceso a herramientas de análisis que permitan la selección y manipulación de únicamente aquellos datos que les interesen. Es decir, ayudar a la toma de decisiones basándose en datos reales.
- Accesible al usuario final: Independientemente de los conocimientos técnicos de los usuarios, la información que proporciona el BI debe ser lo más fácil posible, permitiendo a los usuarios interpretar la información de la forma lo más fácil posible para ayudar a la toma de decisiones.

1.2.2 Usos de las herramientas de Inteligencia de negocios

Si bien existe una amplia variedad de herramientas y es fuertemente discutido cuáles de ellas se consideran parte de la Inteligencia de negocios, las soluciones de BI se pueden distribuir en tres grandes categorías: herramientas para la gestión de datos (data management tools), aplicaciones para descubrir nuevos datos y herramientas de reporting.

Las herramientas para la gestión de datos permiten desde la depuración y estandarización de datos de procedencia diversa hasta su extracción, transformación y traslado a un determinado sistema. Por su parte, las aplicaciones para descubrir nuevos datos permiten recopilar y evaluar nueva información, y aplicar sobre esa información nueva, o sobre la ya disponible, técnicas de análisis predictivo para realizar proyecciones a futuro. Una vez recopilada y tratada toda esa información preexistente o nueva, las herramientas de reporting ayudan a las empresas a visualizarla de manera gráfica e intuitiva. También sirven para integrarla en cuadros de mando que midan si se cumplen o no determinados KPIs, o pueden incluso generar todo tipo de informes de reporting (Signaturit Group, 2024).

Entre los usos más comunes de estas herramientas se encuentran (Tableau Software, n.d.):

- Preparación de datos: Permite recopilar varias fuentes de dato, identificar las dimensiones y las medidas y preparar los datos para el análisis.
- Minería de datos: Permite analizar grandes volúmenes de datos para identificar tendencias, patrones y oportunidades de mejora en la empresa u organización.
- Análisis de datos:

- Generación de informes: Facilitan la creación de informes detallados y personalizados que permiten compartir el análisis de datos con las partes interesadas para apoyar la obtención de conclusiones y toma de decisiones.
- Visualización de datos: Ayuda a representar visualmente la información del análisis de datos a través de gráficos, tablas y paneles interactivos, entre otros, con la finalidad de aportar una comprensión más rápida y efectiva de esta información.
- Monitoreo en tiempo real: Permite el seguimiento continuo del rendimiento empresarial y la detección inmediata de desviaciones o problemas.
- Predicción y pronóstico: Hacen uso de análisis predictivos con el fin de prever tendencias futuras y tomar decisiones proactivas frente a posibles amenazas y oportunidades externas, así como fortalezas y debilidades internas.
- Segmentación de clientes: Ayudan a la segmentación de clientes según diferentes criterios, permitiendo personalizar estrategias de marketing y ventas y analizar el comportamiento de los clientes dependiendo del segmento al que pertenezcan.
- Optimización de procesos: Identifican áreas con margen de mejora en los procesos empresariales, conduciendo a una mayor eficiencia operativa dentro de la empresa.
- Control del rendimiento: Permite evaluar el rendimiento de la empresa, departamentos o productos, especialmente a través de la comparación de datos actuales con datos históricos, con el objetivo de hacer un seguimiento del rendimiento frente a los objetivos. De esta forma, facilita la toma de decisiones basadas en datos concretos.

1.2.3 Beneficios de la Inteligencia de negocios

Los beneficios que se pueden obtener a través del uso de BI pueden ser de distintos tipos (Cano, n.d.): tangibles, intangibles o estratégicos.

- Los beneficios tangibles. Incluyen, por ejemplo, la reducción de costes, la generación de ingresos o la reducción de tiempos para las distintas actividades del negocio.
- Los beneficios intangibles: La disponibilidad de información para la toma de decisiones hace que más usuarios utilicen dicha información para tomar decisiones y mejorar la posición competitiva.
- Los beneficios estratégicos: Incluyen todas aquellas que facilitan la formulación de la estrategia, es decir, a qué clientes y/o mercados dirigirse y con qué productos o servicios.

Independientemente de esta clasificación, algunos de los principales beneficios que aporta el uso de inteligencia de negocios destacan (Conesa Caralt & Curto Díaz, 2010, 20):

- Permite obtener una visión única de la empresa, así como conformada, histórica, persistente y de calidad de la información de fuentes tanto externas como internas.
- Supone ventajas en cuanto a competitividad se refiere, al permitir acceso rápido a la información, diferenciar aquella que es relevante y, sobre todo, una mayor agilidad en la toma de decisiones.
- Permite crear, manejar y mantener métricas, indicadores claves de rendimiento (KPI, Key Performance Indicator) e indicadores claves de metas (KGI, Key Goal Indicator) fundamentales para la empresa.
- Aporta información actualizada tanto a nivel agregado como en detalle, facilitando la rápida detección de problemas.
- Mejora la comprensión y documentación de los sistemas de información en el contexto de una organización u empresa.
- Permite crear un círculo virtuoso de la información, es decir, que los datos se transformen en información que genera conocimiento, y este permite tomar mejores decisiones que se traducen en mejores resultados, que como consecuencia generan nuevos datos.

2 Economía circular en las explotaciones ganaderas gallegas

2.1 Prácticas de economía circular en explotación es ganaderas en Galicia

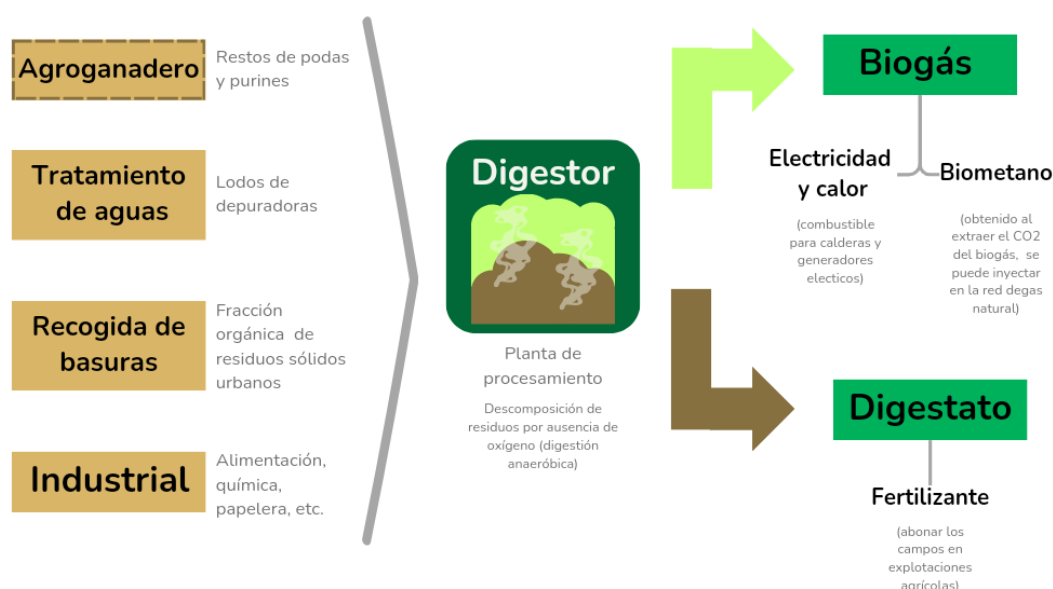
Galicia es una región con una significativa actividad ganadera. Los datos del censo agrario del 2020 identifican en el territorio gallego un total de 45.760 explotaciones ganaderas (bovinas, ovinas, caprinas y porcinas), aproximadamente 20.000 más que el segundo territorio con más explotaciones, Castilla y León. A pesar del número de explotaciones, Galicia se encuentra en octava posición de las comunidades españolas en número de cabezas de ganado, demostrando el tamaño más reducido de las explotaciones. (INE, 2022) Además, según estimaciones de IGE, el peso del sector primario en la estructura productiva gallega es de aproximadamente el 4%, alcanzando el 4,3% en el tercer trimestre de 2023, contrastando con el 2,9% de media en España (Lozano González, 2023).

En este territorio, la adopción de prácticas de economía circular presenta una oportunidad para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de las explotaciones ganaderas. De forma tradicional siempre se ha hecho uso de prácticas de economía circular, si bien no eran clasificadas como tal.

A continuación, se nombran algunas de las prácticas y proyectos más destacados en el territorio gallego dentro de este nuevo paradigma.

Algunas de las principales prácticas en este ámbito están relacionadas con el uso de estiércoles y purines, cuya gestión es uno de los principales retos de la ganadería. De esta forma, es necesario hablar sobre las plantas de tratamiento y gestión de estiércol. Estas permiten reducir las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero y el aprovechamiento de un elemento que bajo el paradigma de la circularidad tiene que ser visto como un recurso y no un residuo (Xunta de Galicia, 2023).

Figura 4 Funcionamiento de una planta de procesamiento



Fuente: Elaboración propia a partir de Repsol, n.d.

Las plantas de biometano y biogás, que permiten generar energía limpia y sostenible a partir de residuos orgánicos, a la vez que ayudan a la gestión de residuos y evitar el riesgo ambiental en zonas de alta concentración de actividad ganadera. En este ámbito existen proyectos como Plantadac, cuyo objetivo es el desarrollo de una planta de digestión anaeróbica compacta, modular, industrializable, móvil, de bajo coste y fácil operación, adecuada para las explotaciones ganaderas gallegas de tamaño medio, que permita valorizar los residuos orgánicos mediante la producción in situ y obtener un fertilizante que pueda ser usado por las propias explotaciones (EnergyLab, 2016).

Otro proyecto, que aún está en desarrollo, impulsado por la Xunta y en el que participan las empresas Reganosa, Naturgy y Repsol, busca crear una red de plantas de biogás que aprovechen el poder energético del purín generado por las explotaciones ganaderas gallegas. Este proyecto, llamado Centro de Economía Circular, estará compuesto por 5 plantas de digestión y 19 plantas intermedias de pretratamiento de purines. Estos proyectos permitirían reducir la dependencia energética, así como de las emisiones de carbono (Comisión de Agricultura del Parlamento de Galicia, 2022).

En este ámbito, se encuentran propuestas de acción dentro de la Estrategia Gallega de Economía Circular 2030, como la propuesta 5.3.1. Esta busca la promoción del uso de biodigestores para la producción de biogás y digestato (material residual tras la digestión anaeróbica de una materia biodegradable) a partir de residuos de explotaciones ganaderas. El objetivo de esta propuesta es fomentar el tratamiento eficaz de residuos del sector ganadero como los purines mediante su transformación, reduciendo su uso como fertilizantes y disminuyendo de esta forma el impacto ambiental que presentan (por ejemplo, contaminación de acuíferos o emisión de gases de efecto invernadero o GEI). Además, busca promover el reciclaje y recuperación de bionutrientes contenidos en purines para ser utilizados como fertilizantes, pero con un menor impacto ambiental.

Otro de los usos que se les otorga a purines y estiércol es como fertilizante. Un caso práctico de utilización de estos es el de Casa Grande de Xanceda, que no hace uso de fertilizantes químicos, sustituyéndolos por fertilización con compostaje y purines. Esta granja ecológica también lleva a cabo otras acciones que forman parte o favorecen la economía circular entre los que se incluyen, pero no se limitan a: uso de vasos reciclables y envases con plástico reciclado o plant-based, placas solares en los techos de las granjas para ganar la mayor autosuficiencia energética posible o la gestión de aguas buscando una mejor calidad a través de la depuración (Casa Grande de Xanceda, n.d).

Es importante tener en cuenta que el aprovechamiento de residuos no es únicamente de purines, existen otro tipo de residuos del sector primario y de la industria alimentaria que contienen gran cantidad de elementos que pueden ser extraídos u obtenidos a través de operaciones básicas en procesos de fermentación (como, por ejemplo, la termocoagulación, ultrafiltración e hidrólisis), para luego ser transformados en productos de alto valor añadido. Un ejemplo es el lactosuero en la industria láctea (Xunta de Galicia, 2019). Estos restos alimentarios, además de poder ser utilizados como fertilizantes y para la creación de nuevos productos,

también pueden ser utilizados como alimento para animales. Un ejemplo de esto es, de forma tradicional, la alimentación de ganado porcino haciendo uso de ciertos restos alimenticios de los hogares.

La gestión de aguas también es visible en ganaderías gallegas como Devesa Longueirón SL. Esta lleva a cabo una serie de acciones que permiten un mayor aprovechamiento de este recurso (Friol, 2022):

- Mantenimiento de las infraestructuras (captación y conducción de agua, bebederos, grifos, etc.) a través de revisiones periódicas para evitar pérdidas y fugas que supongan el desperdicio de agua.
- Recogida y aprovechamiento de agua de lluvia o canalización, en un estado de limpieza adecuado, hacia un cauce de agua. En este segundo caso, es necesario un buen mantenimiento de canalones y bajantes para evitar la contaminación del agua de lluvia.
- Almacenaje de agua para periodos de sequía.
- Protección del perímetro de fuentes y pozos propios, fundamental para evitar su contaminación y posibilitar su utilización.
- Gestión correcta del agua de limpieza, buscando evitar la contaminación del agua de fuentes y pozos, así como de terrenos.
- Cubrimiento de fosas de purín para evitar perder capacidad de estas por la acumulación de agua de lluvias. Esta acción también ayuda a evitar emisiones directas de gases contaminantes.

2.2 Desafíos de la economía circular en las explotaciones ganaderas en Galicia

Los beneficios de la adopción de estas prácticas son una mera adaptación de los beneficios genéricos a este ámbito: reducción de residuos, protección del medioambiente y conservación de ecosistemas, seguridad alimentaria, reducción de costes -que en Galicia sería el principal impulsor y ayudaría a mejorar la competitividad- y ayuda a la resiliencia económica. Este último tomaría gran importancia en el territorio gallego, gracias a la creación de empleo y riqueza, así como una mayor calidad de trabajo. Los posibles cambios nombrados antes ayudarían a la fijación de población en el rural, un elemento fuertemente necesario en Galicia, donde el éxodo rural es un problema (Xunta de Galicia, 2019).

En cuanto a desafíos, también vemos una extensión de los desafíos generales pero adaptados al ámbito gallego. De esta forma, uno de los principales desafíos deriva del tamaño medio de las explotaciones en Galicia, donde hay una fuerte prevalencia de explotaciones de pequeño y medio tamaño. Este sería la necesidad de infraestructura, como por ejemplo centros de tratamiento, que, si bien existen proyectos, la accesibilidad de estos a la amplia mayoría de las explotaciones de reducido tamaño es limitada.

Otro reto al que se enfrenta la adopción de la economía circular en Galicia, y relacionado con el anterior, es relativo a las tecnologías de las cuales se dispone en las granjas. La reducida o total falta de utilización de estas dificulta la adopción de algunas prácticas del modelo circular, así como la medición del uso de estas y de su impacto tanto en las explotaciones ganaderas como en el medioambiente.

Las dificultades de infraestructura y tecnológicas llevan implícitas otra: la necesidad de investigación y la inversión económica que esta pueda suponer. Una mayor circularidad sería posible si existieran las correctas prácticas, tecnologías y procesos para ello, sin embargo, para el desarrollo de estas es necesaria la investigación. Si bien existen proyectos y grupos de investigación centrados en este ámbito como el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo -que ha desarrollado, entre otros, aplicaciones para la recomendación de fertilizantes- la obtención de financiación para estos proyectos es un problema. Esta no es una dificultad que se encuentre únicamente a nivel agrario, según los datos del INE, el territorio gallego se encuentra por debajo de la media española en cuanto a gasto en I+D respecto al PIB, con un 1,09% frente al 1,41% en territorio nacional. Esta falta de fondos para la investigación se ve exaltada al compararla con la media europea en este gasto, que fue de un 2,24% del PIB en el año 2022 (Eustat, 2024).

Uno de los factores más importantes en cambios del modo de producción y consumo drásticos es el humano. De esta forma, es necesaria la concienciación de la sociedad, confianza y aceptación de las prácticas circulares y de la necesidad de un cambio de comportamiento, tanto de consumidores como ganaderos y otras partes implicadas, como la Administración Pública. Por ello, existen propuestas, como la Propuesta 5.2.3 de la Estrategia Gallega de Economía Circular 2030, que busca concienciar sobre prácticas circulares relativas al desperdicio alimentario, especialmente en el sector de la distribución de alimentos, servicios de hostelería y restauración y hogares. En este caso, se lleva a cabo a través de campañas de sensibilización, campañas de formación y líneas de ayuda al sector de distribución (Xunta de Galicia, 2019).

En la misma línea, es importante la colaboración y coordinación entre diferentes agentes económicos, ya sean empresas y centros de investigación (reforzando el tejido gallego de investigación y mejorando la competitividad) o ganaderos u empresas e instituciones públicas. Estas últimas deberían, entre otros, elaborar políticas favorables, regulaciones e incentivos, fomentar esta coordinación y colaboración y proporcionar apoyo económico.

En cuanto a apoyo económico a nivel gallego, en el 2023 la Xunta creó una línea de ayudas para la promoción de la economía circular entre el tejido productivo gallego. El objetivo de estas ayudas es la búsqueda de una mejora competitiva de PYMES y autónomos, impulsando nuevos procesos y un consumo más eficiente. El presupuesto para esta es de 1,5 millones de euros para la totalidad de Galicia y para todos los sectores. A pesar de la existencia de ayudas, es necesario cuestionar la suficiencia de estas para un correcto desarrollo y promoción del consumo y producción circular (Xunta de Galicia, 2023).

2.3 Comparación con la situación de las explotaciones ganaderas

europeas

La Unión Europea juega un papel destacable en cuanto a normativa para impulsar la transición hacia la economía circular, a través del Pacto Verde Europeo de 2019 y, dentro de este, el Plan de acción para la economía circular de 2020. De esta forma, se ha buscado implantar medidas para que autoridades públicas, empresas y consumidores adopten un modelo más sostenible. Es importante tener en cuenta que cada país cuenta con una normativa propia y objetivos diferentes, que hacen que exista cierta disparidad entre los países del continente en este ámbito.

A nivel europeo existen varios países que son referentes en cuanto a economía circular, como Alemania, Italia, Francia o Países Bajos. Así, Alemania es líder en la gestión de residuos, pero aún le queda un largo recorrido para transformar su economía en un sistema circular de producción y consumo. Italia se sitúa en las primeras posiciones de Europa en economía circular, estableciendo un fondo de inversión pública para promover proyectos innovadores en esta área. Francia cuenta con una legislación y un claro discurso en economía circular y ecoinnovación, reflejado a través de leyes, como la denominada Ley contra el despilfarro (febrero de 2020), que promueve la gestión y prevención de la producción de residuos.

En cuanto a Países Bajos, es uno de los referentes en cuanto a este nuevo modelo de producción y consumo. Muestra de ello es su ambicioso proyecto para convertirse en un país basado en la economía circular en su totalidad para el año 2050 (Construcía, 2020). ‘Una economía circular en los Países Bajos para 2050’ es un programa gubernamental centrado en el diseño inteligente, que permite utilizar menos recursos; el uso consciente, a través de la prolongación de la vida útil de los productos; y una mayor y más eficiente reutilización, haciendo uso de residuos como materia prima. Este plan tiene cinco grandes cadenas y sectores en el centro de sus prioridades: biomasa y alimentación, plásticos, fabricación, construcción y bienes de consumo.

Entre los puntos focales de este plan se incluyen la biomasa y alimentación y, por tanto, el sector ganadero (Ministry of Infrastructure and the Environment, 2016). Este, y con especial atención en el sector lácteo, se ha apoyado en cierta medida en un sistema alimentario circular desde hace bastantes años. Ejemplo de ello son la utilización de tierras no aptas para la agricultura como tierras de pastoreo para sus vacas.

En los últimos años se han introducido en este sector flujos de subproductos optimizados, como el suero, que ya no solo se utiliza como ingrediente en piensos, sino que también es la base de una serie de productos de consumo (Dutch Dairy Association, 2016).

El sector ganadero neerlandés es un reconocido líder en innovación y los ganaderos tienen un papel destacable a la hora de liderar la transición a la circularidad. Para ello, cuentan con tres grandes pilares de apoyo: la construcción de una coalición de ganaderos y stakeholders clave a lo largo de la cadena de valor para invertir en un cambio sistemático y apoyar la investigación, el desarrollo de vías circulares para los distintos modelos agrícolas, y la experimentación y aprendizaje buscando ayudar a los agricultores a aplicar las mejores prácticas y a liderar eficazmente el cambio.

La ganadería ha incluido, tradicionalmente, prácticas circulares, lo que ofrece unos cimientos sólidos sobre los que continuar la adaptación y adopción de este modelo en la actualidad. Algunos ejemplos de iniciativas y prácticas circulares que ya se están utilizando en el sector ganadero en los Países Bajos incluyen:

- Medición de emisiones de gases de efecto invernadero, a través de plataformas como Kilmaatmeetlat. Esta herramienta interactiva en línea muestra a las explotaciones sus niveles actuales de emisiones de estos gases y propone medidas para su reducción.

- Gestión de la alimentación y utilización de fertilizantes para minimizar el impacto en el agua y el aire, al tiempo que se mantiene y mejora la calidad del suelo. Por ejemplo, la herramienta KringloopWijzer permite a los agricultores controlar el ciclo de nutrientes de los piensos, el suelo y los fertilizantes y gestionar un mejor uso de estos nutrientes.
- Minimización de la generación de residuos y reutilización o reciclaje de aquellos que son inevitables. De esta forma, las explotaciones ganaderas neerlandesas colaboran con empresas de bioenergía para instalar plantas de procesado que transforman el estiércol en biogás. Además, el 20% de los residuos y subproductos de la industria alimentaria se utilizan como alimento para los animales, con lo que también se minimiza la generación de residuos en otros sectores.
- Gestión responsable del agua en toda la cadena de valor, así como de su disponibilidad y calidad. La cooperativa Doc Kaas garantiza que el agua extraída durante la producción de queso se recicle y se utilice como agua de refrigeración y para fines sanitarios. Como resultado, esta cooperativa es totalmente autosuficiente en términos de agua.
- Gestión y mejora proactiva de la calidad y retención del suelo, buscando garantizar una productividad óptima. El pastoreo se practica tradicionalmente en tierras marginales, donde apenas es posible realizar otras actividades agrícolas, lo que permite optimizar el uso de la tierra y mantener la calidad del suelo en las tierras más productivas.
- Comprensión de los riesgos y oportunidades directos e indirectos para la biodiversidad, estableciendo estrategias para mantener o mejorarla. FrieslandCampina, WWF y Rabobank colaboran en el desarrollo de una herramienta de monitoreo de la biodiversidad de las explotaciones ganaderas. El objetivo de este proyecto es garantizar que los ganaderos cumplan con las métricas requeridas y optar a financiación y beneficios públicos en este ámbito.

A pesar de los avances, sigue habiendo un amplio margen de mejora, a través de la investigación continuada, el estudio de diferentes modelos de explotación y, sobre todo, asegurando la posición de liderazgo de los ganaderos en este movimiento transformador (de Wit et al., 2016). A modo de comparación, se puede observar que tanto en Galicia como en otros países de la Unión Europea como Países Bajos existen esfuerzos por la implantación efectiva de la economía circular. Sin embargo, la diferencia de tamaño medio de la explotación supone también diferentes retos en cuanto al proceso de implantación de prácticas dentro del paradigma circular. Otra explicación es la utilización de los fondos europeos en esta materia de algunos países, lo que dificulta y retrasa la adopción de este nuevo modelo de producción y consumo.

También hay que denotar las diferencias entre países dentro de la Unión Europea, donde, si bien la mayoría de los países tienen estrategias de economía circular, algunos como Croacia no cuentan con planes estratégicos o están en desarrollo, como en Estonia, Letonia y Lituania (Tribunal de Cuentas Europeo, 2023).

En conclusión, a nivel europeo existe un fuerte interés y hay iniciativas para la implantación de la economía circular, tanto de forma general como en el ámbito agroalimentario. Sin embargo, se pueden observar diferentes niveles de ejecución efectiva de estos, habiendo países donde este proceso está más avanzado y otros en los que este aún no ha comenzado. De esta manera, se generan fuertes contrastes, como entre regiones con fuerte actividad ganadera, como Brabante Septentrional, en Países Bajos, y Galicia.

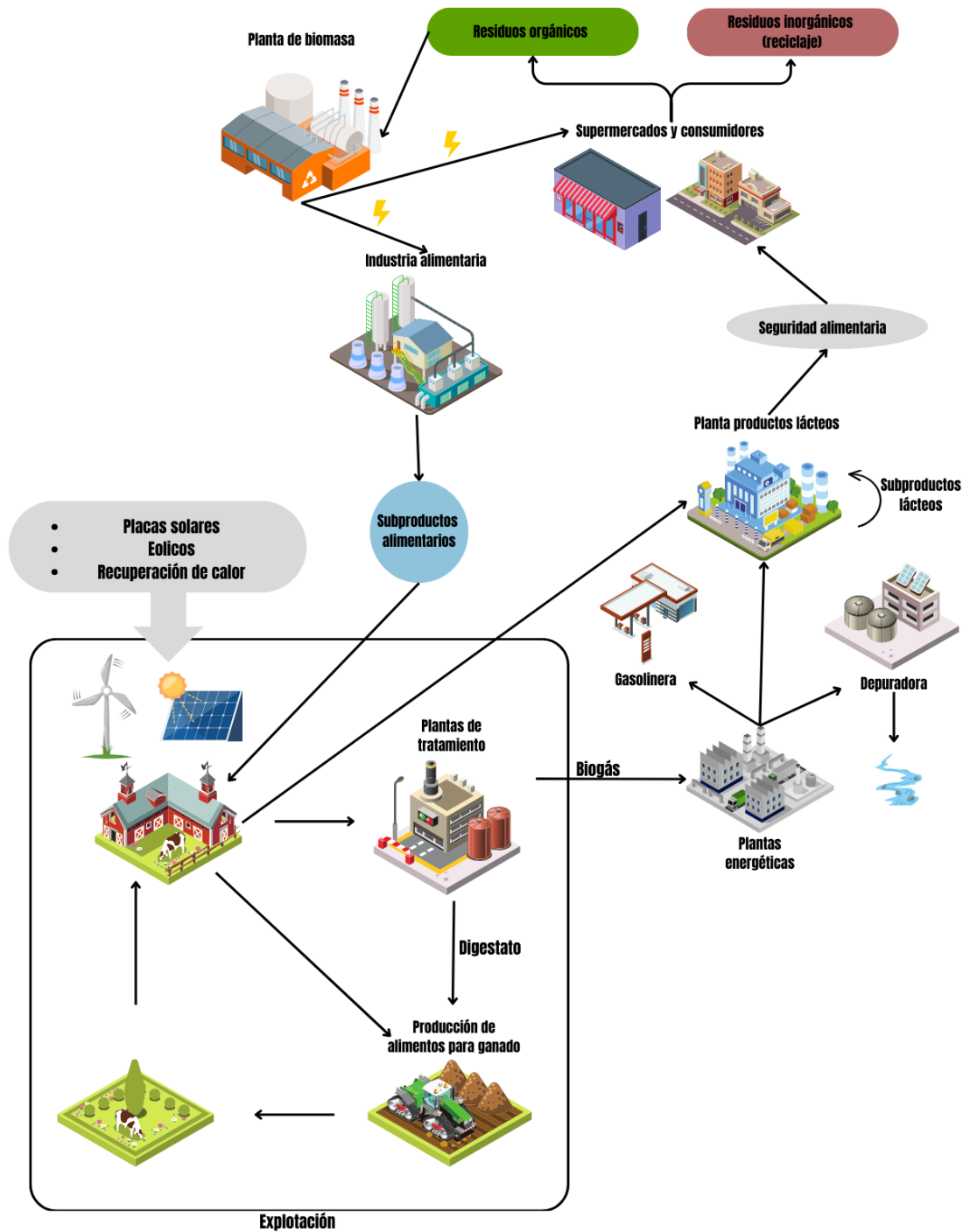
3 Diseño del sistema de BI para medir la economía circular

3.1 Planificación del sistema BI

El entorno ideal para la implementación de un sistema de BI de estas características sería una explotación de ganadería de precisión, puesto que debido a las inversiones en instalación y tecnología necesarias para realizar esta ganadería de precisión crean el entorno perfecto para la implantación y medición de prácticas de economía circular en este ámbito. Esta idoneidad se ve apoyada por el alto impacto ambiental de esta, generando altas cantidades de, entre otros, purines y gases de efecto invernadero.

De esta forma y teniendo en cuenta todo lo recogido previamente en el presente trabajo, una implantación completa de prácticas de economía circular en una explotación ganadera láctea de precisión seguiría el esquema recogido en la Figura 5.

Figura 5 Implantación completa de prácticas de economía circular en una explotación ganadera láctea

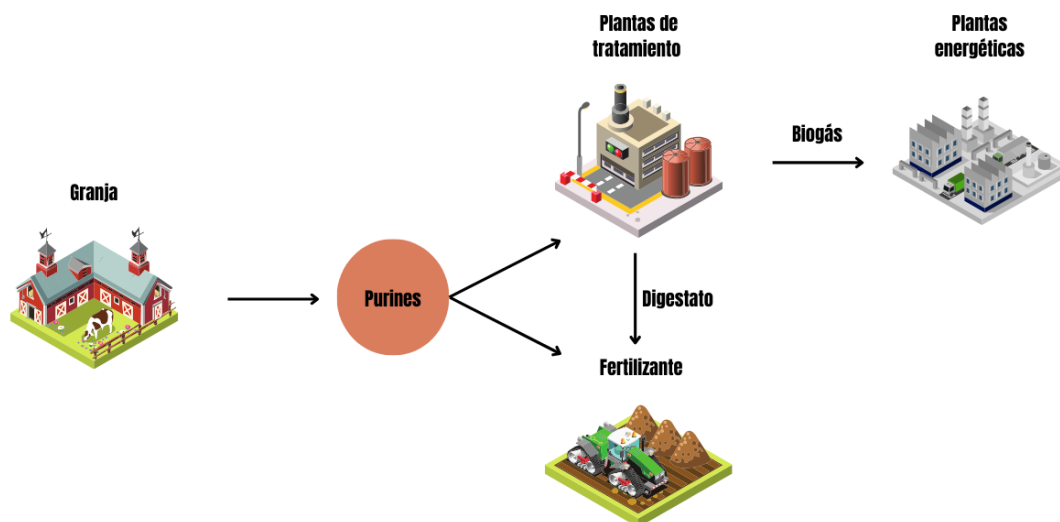


Fuente: Elaboración propia a partir de Dutch Dairy Association (2016)

Debido a los desafíos en el ámbito gallego, una implantación completa no sería posible. Por ello, el diseño de este sistema se va centrar en dos elementos considerados residuos en este ámbito, cuya medición es más viable en granjas en el territorio con, relativamente, un reducido número de tecnologías: los purines y el lactosuero.

Por un lado, los purines obtenidos de la granja tienen dos usos principales: como fertilizante y para ser transformado en plantas de tratamiento. El purín es una materia rica en nutrientes y minerales, lo que hace que sea un excelente fertilizante. A través de la transformación en plantas de tratamiento a través de un proceso de digestión anaeróbica se producen digestato, cuyo alto contenido en nutrientes hace de él un buen fertilizante, y biogás, que puede ser utilizado en plantas energéticas para la obtención de energía eléctrica y térmica o ser introducido en la red de gas natural, tras un refinamiento para reducir el porcentaje de dióxido de carbono.

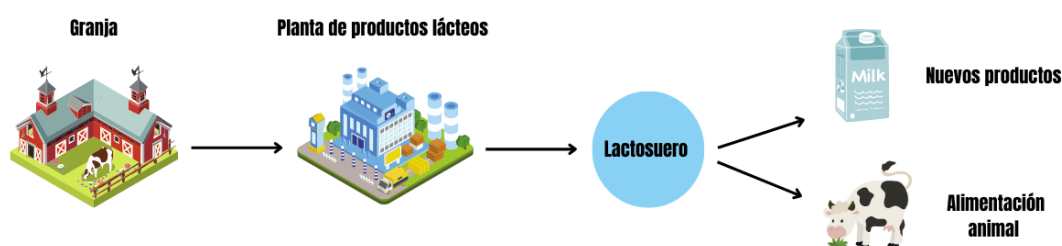
Figura 6 Proceso circular de los purines



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el lactosuero, subproducto lácteo obtenido durante la coagulación de la leche durante la fabricación de queso o mantequilla, es uno de los principales residuos de la elaboración de productos lácteos. Este cuenta con varios usos circulares, como la elaboración de bebidas lácteas, queso de suero o suplementos nutricionales. La incorporación del lactosuero a la dieta de los animales, en forma de agua de bebida, como aditivo de ensilaje o como sustitutivo para la crianza, permite ahorrar costes y mejorar la producción obtenida.

Figura 7 Proceso circular del lactosuero



Fuente: Elaboración propia

3.2 Identificación de indicadores clave de desempeño (KPIs) para la economía circular

En el proceso de identificación de indicadores claves de desempeño o KPIs de economía circular se ha comenzado con la elaboración de una lista general de indicadores útiles para medir la economía circular a nivel de la totalidad de la explotación ganadera. Estos, recogidos en la Tabla 1, se clasifican en cinco grandes grupos, permitiendo medir algunos de los principales puntos de interés de la economía circular: la gestión de residuos y materiales, la gestión del agua, la gestión de nutrientes, la energía y las emisiones, y la viabilidad económica.

Tabla 1 Indicadores clave de desempeño de la economía circular de una explotación ganadera

1	Gestión de residuos y materiales	<ul style="list-style-type: none"> a. Porcentaje de residuos generados que se reciclan b. Porcentaje de residuos generados que se compostan c. Porcentaje de residuos generados que se reutilizan d. Autonomía de alimentos y piensos (producción total dividida por el consumo medio de los ciudadanos y las necesidades medias del ganado) e. Porcentaje de residuos generados que se depositan en vertederos f. Porcentaje de residuos generados que se tratan en plantas de pretratamiento y digestores
---	----------------------------------	---

		<ul style="list-style-type: none"> g. Porcentaje de biofertilizante producido en relación con la cantidad de materia prima utilizada. h. Porcentaje de materiales procedentes de fuentes recicladas o secundarias. i. Número de intercambios de material eah dentro de la cadena de valor agroalimentaria j. Composición y uso de la alimentación del ganado
2	Gestión del agua	<ul style="list-style-type: none"> a. Consumo de agua por unidad de producto b. Consumo de agua por cabeza de ganado c. Porcentaje de agua reciclada utilizada d. Porcentaje de agua utilizada procedente de aguas pluviales o grises. e. Cantidad de agua f. Porcentaje de agua utilizada que se trata antes de su eliminación
3	Gestión de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> a. Porcentaje de nutrientes recuperados del estiércol b. Porcentaje de nutrientes reutilizados en la explotación c. Porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente.
4	Energía y emisiones	<ul style="list-style-type: none"> a. Porcentaje de energía renovable utilizada b. Porcentaje de la energía utilizada que se genera en la granja c. Porcentaje de la energía utilizada que se compra a fuentes renovables d. Porcentaje de la energía utilizada que se ahorra con medidas de eficiencia e. Porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero compensadas f. Porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero que se reducen con medidas de eficiencia g. Balance parcial de nitrógeno (diferencia entre las entradas de N gestionadas por el agricultor y las salidas de N) h. Balance de carbono (emisiones directas de CO₂ + emisiones indirectas de CO₂ + Emisiones evitadas) i. Emisiones de carbono evitadas por los sistemas bioenergéticos (ahorro derivado de la sustitución de energía por energía renovable)
5	Viabilidad económica	<ul style="list-style-type: none"> a. Retorno de la inversión en medidas de economía circular b. Periodo de amortización de las medidas de economía circular c. Porcentaje de ingresos generados por actividades de economía circular d. Reducción de costes gracias a las medidas de economía circular e. Impacto en la producción de leche de la implementación de medidas de economía circular (medido en litros por cabeza)

Fuente: Elaboración propia

De la totalidad de los indicadores se han seleccionado aquellos que se consideran útiles y factibles para la medición de los procesos seleccionados anteriormente. Estos indicadores quedan recogidos en la Tabla 2 para los purines y en la Tabla 3 para el lactosuero.

Tabla 2 Indicadores clave de desempeño de la economía circular de los purines

Purines
<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de residuos generados que se reciclan• Porcentaje de residuos generados que se reutilizan• Porcentaje de residuos generados que se tratan en plantas de pretratamiento y digestores• Porcentaje de biofertilizante producido en relación con la cantidad de materia prima utilizada• Porcentaje de materiales procedentes de fuentes recicladas o secundarias• Porcentaje de nutrientes recuperados del estiércol• Porcentaje de nutrientes reutilizados en la explotación• Porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente.• Porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero compensadas• Balance de carbono• Retorno de la inversión en medidas de economía circular• Reducción de costes gracias a las medidas de economía circular

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Indicadores clave de desempeño de la economía circular del lactosuero

Lactosuero
<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de residuos generados que se reciclan• Composición y uso de la alimentación del ganado• Porcentaje de nutrientes reutilizados en la explotación• Porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente• Retorno de la inversión en medidas de economía circular• Reducción de costes gracias a las medidas de economía circular• Impacto en la producción de leche de la implementación de medidas de economía circular (medido en litros por cabeza de ganado)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Aplicación de técnicas de minería de datos para la identificación de KPIs

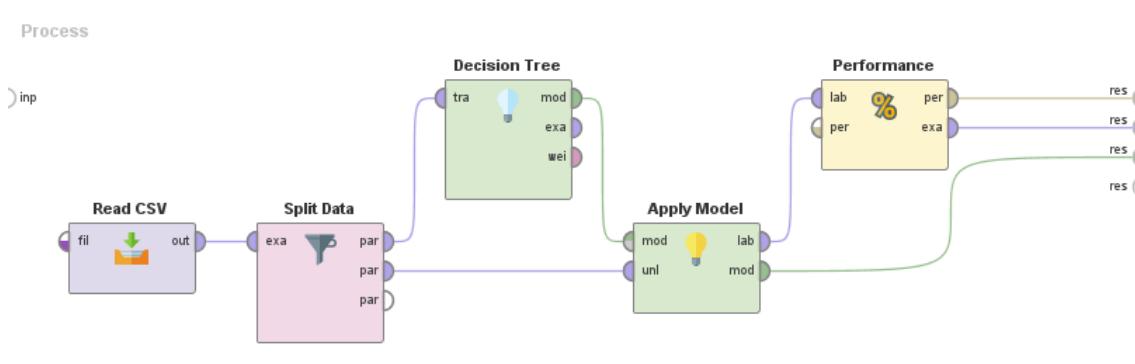
Para este proceso de identificación y selección de indicadores, buscando añadir mayor valor y una aplicación más práctica, así como buscando cumplir los objetivos de este trabajo, se van a aplicar técnicas de minería de datos sobre un conjunto de datos, de forma tal que permita identificar aquellos indicadores clave de desempeño que mejoren el impacto de la incorporación de la economía circular al modelo productivo. Debido a la dificultad de obtención de datos reales, se ha optado por generar, a través de un programa simple en Python, un data set sintético que simule los datos recogidos en una granja. Esto se ha hecho a partir de un modelo basado en

reglas lo más realistas posibles que otorga valores generados de manera aleatoria a los KPIs identificados anteriormente en la Tabla 1.

Haciendo uso de RapidMiner como herramienta para el análisis y minería de datos, se han desarrollado dos procesos: un modelo de estimación lineal de la variable 'Rendimiento' calculada en la elaboración del data set y un clasificador cuaternario.

El primero, recogido en la Figura 8, implementa un modelo de estimación lineal de la variable 'Rendimiento', es decir, predice el porcentaje de rendimiento a partir de una entrada de KPIs medidos en una granja.

Figura 8 Proceso del modelo de estimación lineal de 'Rendimiento' en RapidMiner



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este proceso, recogidos en el Anexo I, demuestran la importancia del impacto en la producción de leche de la implementación de medidas de economía circular, haciendo de este un factor crítico. De esta forma, una mayor viabilidad económica inicial conduce a un conjunto más específico de decisiones relacionadas con la gestión de residuos y nutrientes. Otro factor que cabe destacar es el porcentaje de residuos generados que se reutilizan, que se muestra repetidamente como un factor determinante en el árbol de decisión. De esta forma podemos destacar su significativa influencia en el rendimiento, especialmente cuando el porcentaje de residuos reutilizados es superior al 69,6%.

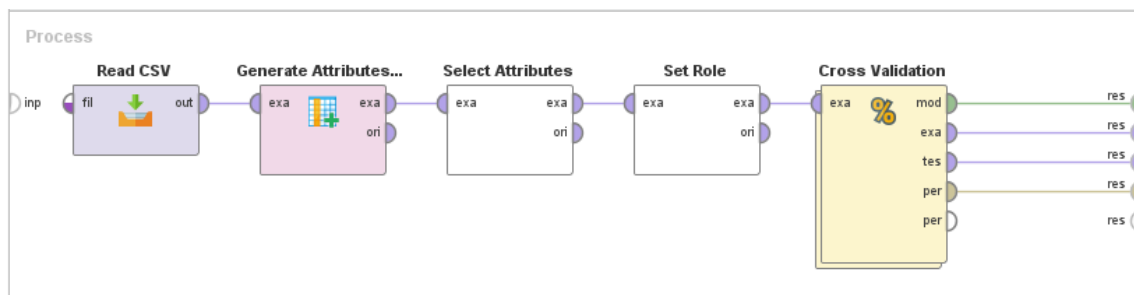
Cabe destacar también la continua combinación del porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente y el porcentaje de residuos generados que se reciclan con factores de viabilidad económica, como el periodo de amortización de las medidas de economía circular y el porcentaje de ingreso que generan estas actividades circulares. Esta interacción de

indicadores demuestra el impacto que puede tener sobre los resultados económicos una gestión efectiva de los recursos.

En forma de conclusión general de los resultados de este proceso destaca la importancia de la viabilidad económica junto a una gestión efectiva de los recursos, especialmente los relacionados con la reutilización y reciclaje de residuos y con la pérdida de nutrientes.

El segundo modelo, recogido en la Figura 9, es un clasificador con cuatro clases que predice el cuartil de rendimiento en el que se encuentra una granja a partir de los valores de KPIs medidos. En este, los nodos son los distintos KPIs identificados previamente y según su valor irían por una rama u otra del árbol hasta alcanzar las hojas. Se ha considerado un problema de clasificación cuaternario, en el que las hojas del árbol de decisión tienen cuatro posibles valores del rendimiento del proceso: 1 (0-25%), 2 (25-50%), 3 (50-75%) y 4 (75-100%).

Figura 9 Proceso del clasificador cuaternario en RapidMiner



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este proceso, recogidos en el Anexo II, muestran algunos de los factores que son determinantes para alcanzar el mayor rendimiento posible, como es el porcentaje de nutrientes perdidos o la autonomía de alimentos y piensos. Esto sugiere que una mayor autosuficiencia y mantenimiento de nutrientes dentro del ciclo de la explotación están relacionados con un rendimiento óptimo.

El impacto económico de las prácticas de economía circular vuelve a tener un papel destacado en la obtención de un rendimiento superior. En este caso, sabe destacar la reducción de costes gracias a estas medidas, que aportan mayor rendimiento a cuanto mayor sea la reducción. En relación con este factor, nuevamente se vuelve a observar la relación entre una autonomía de alimentos y piensos y una reducción de costes, de forma tal que, a mayor autonomía, mayor reducción de costes.

La gestión de agua, especialmente la obtenida de aguas pluviales o grises, así como el porcentaje de agua reciclada utilizada, son factores que permiten alcanzar un nivel medio-alto de rendimiento, influyendo como diferenciador clave para llegar al tercer cuartil. Cabe destacar que el aporte positivo de estos factores al rendimiento depende fuertemente de sus valores. Por ejemplo, un porcentaje muy bajo de agua reciclada se asocia a un rendimiento menor al 25%. Así, una gestión ineficaz de un recurso como el agua puede limitar considerablemente el rendimiento.

A forma de conclusión de estos resultados, destaca la importancia de la gestión eficientes de nutrientes, buscando una reducción máxima de la pérdida de estos. De la misma forma, un uso eficiente y reciclaje del agua aportan alto valor al progreso de cuartiles inferiores a los superiores. Todos estos factores, acompañados por la reducción de costes en el ámbito económico, conforman los principales agentes de éxito en cuanto a rendimiento se refiere.

Teniendo en cuenta los resultados analizados, se han llevado a cabo modificaciones en la selección de indicadores seleccionados para medir los dos procesos objeto de estudio. Tras estas modificaciones, los indicadores clave de desempeño finales elegidos se han recogido en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4 Indicadores clave de desempeño finales de la economía circular de los purines

Purines
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de residuos generados que se reciclan • Porcentaje de residuos generados que se reutilizan • Porcentaje de residuos generados que se tratan en plantas de pretratamiento y digestores • Porcentaje de biofertilizante producido en relación con la cantidad de materia prima utilizada • Porcentaje de materiales procedentes de fuentes recicladas o secundarias • Porcentaje de nutrientes recuperados del estiércol • Porcentaje de nutrientes reutilizados en la explotación • Porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente • Porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero compensadas • Balance de carbono • Retorno de la inversión en medidas de economía circular • Reducción de costes gracias a las medidas de economía circular • Periodo de amortización de las medias de economía circular • Porcentaje de agua utilizada procedente de aguas pluviales o grises

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Indicadores clave de desempeño finales de la economía circular del lactosuero

Lactosuero
<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de residuos generados que se reciclan• Porcentaje de residuos que se reutilizan• Composición y uso de la alimentación del ganado• Porcentaje de nutrientes reutilizados en la explotación• Porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente• Retorno de la inversión en medidas de economía circular• Reducción de costes gracias a las medidas de economía circular• Impacto en la producción de leche de la implementación de medidas de economía circular (medido en litros por cabeza de ganado)• Periodo de amortización de las medidas de economía circular• Autonomía de alimentos y piensos

Fuente: Elaboración propia

3.4 Selección de herramientas y tecnologías para el sistema BI

Una vez realizada la esencial selección de indicadores clave de desempeño (KPIs) para los dos procesos escogidos, de forma tal que estos permitan la medición efectiva de la economía circular de estos, es necesaria una correcta selección de herramientas y tecnologías a utilizar dentro del sistema de BI.

Para esta selección hay que tener en cuenta una serie de consideraciones. Así, las explotaciones gallegas, que generalmente son de tamaño reducido, cuentan con limitada infraestructura tecnológica y, aunque este diseño se centre en explotaciones de ganadería de precisión, que cuentan con mayores tecnologías disponibles, la adopción de sistemas de BI puede ser limitada debido a la falta de familiaridad con estas herramientas. Esto lleva a otra de las consideraciones: la necesidad de capacitación y mejora de la alfabetización digital para una mayor comprensión del funcionamiento de estas haciendo su usabilidad y accesibilidad de estos instrumentos digitales.

El tamaño y capacidad de inversión de la explotación ganadera de precisión gallega media hacen del precio otro de los factores a tener en cuenta en la elección de herramientas. Estas herramientas deben tener un precio acorde a la capacidad económica de la explotación. En este caso, puesto que el diseño está centrado en una explotación de precisión.

En la selección de herramientas hay que tener en cuenta la cantidad de datos para el cálculo de los indicadores escogidos con anterioridad, especialmente para una medición de la economía circular a lo largo del tiempo. De esta forma, también es necesario contemplar la posible

necesidad de datos históricos. Por esto, las herramientas han de ser capaces de manejar y procesar de forma eficiente grandes cantidades de datos.

De forma resumida, las herramientas a elegir han de ser accesibles a la explotación, tanto en cuanto a la facilidad de obtener e implantarlas por parte de la empresa, como que estas sean fáciles de usar e intuitivas. Las herramientas deben tener un precio adecuado a las limitaciones financieras de la explotación y adaptarse en este ámbito a las necesidades de ella. Además, hay que tener en cuenta la capacidad de las herramientas de manejar y procesar grandes volúmenes de datos.

En este proceso de selección se buscan herramientas que cubran la mayor cantidad de procesos del sistema BI y herramientas de toma de decisiones posibles. Esta decisión se basa especialmente en las limitaciones económicas, las limitaciones tecnológicas que se encuentran en una explotación de ganadería de precisión gallega y en la intención de reducir la cantidad de herramientas en la que formar a las personas que van a ser usuarias de ellas para facilitar este aprendizaje.

Se presta especial atención a la capacidad de modelado de datos y visualización de la información, esenciales en el diseño de un sistema BI, al ser el principal punto de contacto entre el usuario y la información, siendo estas habilitadoras y facilitadoras de la comprensión de los datos.

El modelado de datos implica la organización y estructuración de grandes volúmenes de datos generados en la explotación, permitiendo el almacenamiento y posterior análisis de estos. (Tyrychtr et al., 2015)

La visualización de la información facilita la interpretación de datos complejos a través de representaciones gráficas, como dashboards y reports. Las herramientas visuales permiten la rápida identificación de patrones y tendencias, así como la evaluación del desempeño en términos de sostenibilidad económica y ambiental. Además, la capacidad de representar gráficamente estos datos facilita la comunicación de los resultados y el proceso de toma de decisiones.

En el caso de los procesos objeto de estudio y los indicadores seleccionados para su medición, existen muchos tipos diferentes de visualización que serían útiles para la extracción de conocimiento o información. Dependiendo del KPI, la representación o modo de visualización puede variar. Por ejemplo, para el porcentaje de residuos generados que se tratan en plantas de pretratamiento y digestores se puede representar a través de un gráfico circular, comparándolo así con los residuos tratados a través de otros métodos. De una forma similar, los gráficos de barras son una buena opción para el porcentaje de materiales procedente de fuentes secundarias o recicladas al permitir comparar con otras fuentes de materiales, o los gráficos de líneas, para mostrar tendencias en cuanto a porcentaje de nutrientes que se pierden en el medio ambiente o al porcentaje de nutrientes recuperados del estiércol.

Teniendo en cuenta las necesidades del sistema objeto de estudio, se han elegido las siguientes herramientas como opciones para este, basándose en estudios existentes relativos a su utilización y características: Tableau, PowerBI, Qlik Sense, KNIME, Pentaho, IBM Cognos Analytics, SAP BI y Sisense. (Gartner Research, 2024) La siguiente tabla, Tabla 6, recoge los procesos del sistema BI y herramientas de toma de decisiones que cubre cada una de las plataformas BI citadas anteriormente.

Tabla 6 Relación de tenencia de componentes de cada herramienta

Componentes / Herramientas	ETL	Data Warehouse	OLAP	Minería de datos	Reporting y visualización de datos
Tableau	No, pero puede integrarse con herramientas externas	No	No	No	Si
PowerBI	Si, pero limitadas	No, pero se integra con servicios de almacenamiento de Microsoft	Si	No	Si
Qlik Sense	Si, pero limitadas	No	No	No	Si
KNIME	Si	No	No	Si	Si
Pentaho	Si	Si	Si	Si	Si
IBM Cognos Analytics	Si, pero limitadas	No, pero se integra con	Si	No	Si

		soluciones de almacenamiento de IBM			
SAP BI	Si	Si	Si	Si	Si
Sisense	Si, pero limitadas	No	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

Para el proceso de selección de herramientas, se han tomado como punto de referencia literatura académica en este ámbito, como Gina & Budree (2020). De esta forma se ha desarrollado la siguiente lista de características, así como lo deseado para las herramientas que mejor se ajuste a una explotación ganadera descrito anteriormente:

- Costo: precio total de las herramientas, incluyendo adquisición, licencias, suscripciones y mantenimiento del software. Debido a las limitaciones financieras explicadas con anterioridad, es necesario que las soluciones implantadas no comprometan el presupuesto de la explotación y sean, por lo tanto, asequibles.
- Escalabilidad: capacidad de las herramientas para manejar un aumento en el volumen de datos y usuarios sin arriesgar una pérdida significativa del rendimiento de esta. A medida que la explotación crezca, así como se implante una mayor cantidad de prácticas de economía circular, será necesaria una solución capaz de manejar el incremento cuantitativo de información con la que trabajarán las herramientas.
- Facilidad de uso: hace referencia a la intuitividad y accesibilidad de las herramientas para los usuarios, especialmente teniendo en cuenta que estos no tendrán una experiencia técnica avanzada. La selección de unas herramientas cuyo uso sea fácil reduce la cantidad de tiempo y esfuerzo necesario para un correcto aprendizaje del uso del software.
- Curva de aprendizaje: facilidad y rapidez con la que los usuarios pueden aprender a hacer uso efectivo de las herramientas. Buscando una adopción relativamente rápida, el objetivo es una curva de aprendizaje suave.
- Compatibilidad: hace referencia a la capacidad de las herramientas para integrarse con otros sistemas y plataformas ya existentes dentro de la explotación. Esta característica asegura que las herramientas seleccionadas funcionen correctamente con las tecnologías que ya estén en uso dentro de la granja, asegurando, especialmente, una correcta obtención de datos.
- Integración: capacidad de conexión con diferentes fuentes de datos, así como sistemas externos. De la misma forma que la compatibilidad, la integración busca el

aprovechamiento de las tecnologías ya existentes y en uso en la explotación, permitiendo consolidar datos de diferentes fuentes.

- **Mantenimiento:** esfuerzo requerido para la manutención de un correcto y eficiente funcionamiento de las herramientas. Teniendo en cuenta las limitaciones financieras, es preferible un mantenimiento que requiera la menor carga de trabajo posible, así como un menor coste.
- **Soporte y comunidad:** disponibilidad de soporte técnico junto con la existencia de una comunidad de usuarios activa que ofrezca ayuda y recursos. Este soporte permite una resolución rápida de problemas, así como la obtención de recursos específicos para el o los softwares elegidos.
- **Interfaz de usuario:** como citado anteriormente, es importante facilitar lo máximo posible la accesibilidad y usabilidad de los instrumentos digitales, por ello una interfaz intuitiva y diseñada de forma sencilla y visual facilitarían su uso por parte de los usuarios.
- **Flexibilidad y personalización:** capacidad de las herramientas de adaptación a las necesidades de la explotación y los usuarios, así como la capacidad de modificación y adaptación de las funcionalidades. Se busca que las herramientas se puedan adaptar a las necesidades específicas y a los posibles cambios en las operaciones, crucial para una explotación en continua evolución.

La Tabla 7 recoge de forma resumida las diferentes características que se tienen en cuenta para esta selección y los valores correspondientes para cada una de las herramientas que se están teniendo en cuenta.

Tabla 7 Relación de tenencia de características de cada herramienta

Características / Herramientas	Tableau	PowerBI	Qlik Sense	KNIME	Pentaho	IBM Cognos Analytics	SAP BI	Sisense
Costo	Alto / Moderado	Bajo / Moderado	Moderado	Bajo / Gratuito	Bajo / Moderado	Alto	Muy alto	Alto / Moderado
Escalabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Facilidad de uso	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Alta

Curva de aprendizaje	Baja	Baja / Moderada	Baja	Moderada	Alta	Alta	Alta	Baja
Compatibilidad	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Integración	Amplia	Amplia	Amplia	Amplia	Amplia	Amplia	Amplia	Amplia
Mantenimiento	Bajo / Moderado	Bajo / Moderado	Bajo / Moderado	Moderado	Alto	Alto	Alto	Bajo / Moderado
Soporte y comunidad	Muy amplio	Muy amplio	Amplio	Amplio	Amplio	Muy amplio	Muy amplio	Muy amplio
Interfaz de usuario	Intuitiva y visual	Intuitiva y visual	Intuitiva y visual	Intuitiva y visual	Compleja inicialmente	Compleja inicialmente	Compleja inicialmente	Intuitiva y visual
Flexibilidad y personalización	Alta	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la información recogida en las tablas 6 y 7, se ha decidido hacer uso de Pentaho como herramienta única. Uno de los factores principales para esta elección ha sido que esta herramienta puede cubrir todos los componentes de un sistema BI, desde el proceso ETL a herramientas de toma de decisiones, así como data warehouse. Pentaho cuenta con un costo adaptado a las capacidades indicadas con antelación, tiene alta capacidad de integración y compatibilidad y es flexible y personalizable. Los principales contras de este están relacionados con el proceso de aprendizaje, puesto que inicialmente Pentaho puede ser complicado y muestra de ello es su tenencia de una curva de aprendizaje pronunciada. Sin embargo, estas problemáticas tienen una solución sencilla, a través de un correcto proceso de enseñanza de ella y de su uso.

3.4.1 Papel de las tecnologías Big Data en un sistema BI

Existe un elemento que es esencial para la implementación de un sistema completo de recogida de datos dentro del entorno del sistema BI: las tecnologías Big Data. Estas permiten manejar grandes volúmenes de datos que se generan continuamente a través de diversas fuentes. La

importancia de estas tecnologías recae la necesidad de datos de calidad y en gran cantidad para un correcto funcionamiento y aprovechamiento de la inteligencia de negocios (Campo Galego, 2021).

En el caso de una explotación ganadera de precisión, la utilización de sensores automatizados para medir diferentes factores dentro de la explotación es una de las formas más efectivas de recolectar datos. Estos sensores, cuyo objetivo inicial es la medición de elementos ajenos a la economía circular, pueden suponer una fuente de datos para el sistema de inteligencia de negocios objeto de estudio (Černý, 2020).

También es necesario hablar de la infraestructura de almacenamiento, donde tecnologías como Hadoop y Spark y bases de datos NoSQL permiten el almacenaje de datos en formato no distribuido, esencial para garantizar la escalabilidad y la rapidez de acceso a la información. Estos últimos factores y la utilización de arquitecturas flexibles y escalables favorecen el entorno de instalación de la inteligencia de negocio, especialmente en lo relativo a la integración con el data warehouse de este (Ordoñez Salinas & Nieto Lemus, 2017).

Conclusiones, limitaciones y ampliación

En la actualidad, la implantación de modelos como la economía circular son clave para el desarrollo sostenible y la reducción de la contaminación, al construir un circuito casi cerrado que busca conservar la máxima utilidad y valor de los productos, componentes y materiales. Dentro del sector ganadero, la implementación de estos sistemas es fundamental para alcanzar la sostenibilidad a largo plazo

A nivel práctico, la implementación de este nuevo paradigma de consumo y producción requiere herramientas que faciliten la medición de su desempeño e impacto. De esta forma, la inteligencia de negocios ofrece herramientas que permiten integrar, analizar y visualizar datos en volúmenes elevados y fuentes diversas. Su papel dentro de la medición de la economía circular es aportar una visión general de estas prácticas, facilitando la toma de decisiones informadas dentro de una explotación.

Teniendo como objetivo la aplicación de este sistema de inteligencia de negocios en una explotación gallega y, teniendo en cuenta las limitaciones de las granjas en esta región, el diseño se centra en una explotación ganadera de precisión, debido a que cuenta con una serie de tecnologías base que facilitarían la implementación de herramientas de este tipo.

Como parte importante de este diseño se encuentra la determinación de qué elementos se van a medir dentro de la explotación. Por ello se han seleccionado dos de los procesos de mayor interés en este ámbito: los purines y el lactosuero. De cada uno de ellos se han identificado una serie de indicadores clave de desempeño en los que centrarse.

Con un objetivo en mente de la posibilidad de interpolación de este diseño a explotaciones ganaderas con otras características, se ha seleccionado Pentaho como herramienta única, al cubrir las necesidades en cuanto a los principales componentes y procesos de un sistema de inteligencia de negocios se refiere: fuentes de datos, proceso ETL, almacenaje de datos y herramientas para el apoyo a la toma de decisiones como minería de datos, OLAP o reporting.

En cuanto a limitaciones, una de las principales ha sido la dificultad de obtención de datos para la aplicación de técnicas de minería de datos. A forma de solución, como recogido dentro del trabajo, se elaboró un conjunto de datos a través de un programa de Python, a partir de un modelo basado en reglas lo más realistas posibles. Como consecuencia de esta falta de datos auténticos, los resultados de los apartados en los que influye el uso de este data set pueden diferir de una aplicación real.

A modo de ampliación de este trabajo, sería interesante el estudio del proceso de implantación de un sistema de estas características y con estos objetivos, teniendo en cuenta su utilidad e impacto dentro de una explotación ganadera.

Bibliografía

- Bourguignon, D. (2016, enero). *Closing the loop: new circular economy package*. European Parliament. Recuperado a 26 de febrero de 2024, de https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf
- Calero, C. (2018, 14 septiembre). *¿Cómo integrar la economía circular en la ganadería? El ejemplo holandés*. Revista Ganadería. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de https://archivo.revistaganaderia.com/editorial-agricola-ganaderia/alimentacion/como-integrar-la-economia-circular-en-la-ganaderia-el-ejemplo-holandes_9987_112_12413_0_1_in.html
- Campo Galego. (2021, 26 marzo). *¿Puede ser el big data un aliado para aumentar la rentabilidad de las ganaderías lecheras?* Recuperado a 21 de junio de 2024, de <https://www.campogalego.es/puede-ser-el-big-data-un-aliado-para-aumentar-la-rentabilidad-de-las-ganaderias-lecheras/>
- Cano, J. L. (n.d.). *Business Intelligence: Competir con Información*. ESADE. Recuperado a 5 de marzo de 2024, de https://itemsweb.esade.edu/biblioteca/archivo/Business_Intelligence_competir_con_informacion.pdf
- Capsa Vida. (2020, 28 septiembre). La economía circular, uno de los retos de la ganadería. Recuperado a 10 de abril de 2024, de <https://capsavida.com/blog/la-economia-circular-reto-ganaderia/>

- Casa Grande de Xanceda. (n.d.). *Compromiso Xanceda | Granja ecológica Casa Grande de Xanceda*. Casa Grande de Xanceda. Recuperado a 29 de marzo de 2024, de <https://www.casagrandexanceda.com/seccion/202/Nuestro-Compromiso.html>
- Černý, M. (2020). *Cooperation of Business Intelligence and Big Data in one Ecosystem*. SHS Web of Conferences. Recuperado a 21 de junio de 2024, de https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2020/11/shsconf_appsconf2020_01008.pdf
- Comisión de Agricultura del Parlamento de Galicia. (2022, 16 diciembre). *Comisión 7ª, Agricultura, Alimentación, Ganadería e Montes*. Comisión 7ª, Agricultura, Alimentación, Ganadería e Montes. Recuperado a 29 de marzo de 2024, de <http://mediateca.parlamentodegalicia.gal/watch?id=ZDM5YmEwZGYtYTFjZi00ZTgwLTg2NzctMTA1MmQwNWM5N2Uz&start=6508>
- Conesa Caralt, J., & Curto Díaz, J. (2010). *Introducción al Business Intelligence* (J. Conesa Caralt, Ed.). Editorial UOC, S.L.
- Construcía. (2020, 30 septiembre). *¿Qué países lideran el cambio en economía circular?* Construcía. Recuperado a 16 de marzo de 2024, de <https://www.construcia.com/noticias/paises-lideran-cambio-economia-circular/>
- de Wit, M., Bardout, M., Ramkumar, S., & Kubbinga, B. (2016, octubre). *The Circular Dairy Economy*. THE CIRCULAR DAIRY ECONOMY. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5e1d76b3a12b0a174b858215_the-circular-dairy-economy.pdf
- Dutch Dairy Association. (2016). *Exploring the circular economy in the dairy sector*. Exploring the circular economy in the dairy sector. Recuperado a 26 de marzo de 2024, de https://www.nzo.nl/wp-content/uploads/2019/01/circular_economy_brochure_nzo.pdf

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *The Butterfly Diagram: Visualising the Circular Economy*.

Ellen MacArthur Foundation. Recuperado a 26 de febrero de 2024, de

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *What is a circular economy?* Ellen MacArthur Foundation.

Recuperado a 5 de marzo de 2024, de

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>

EnergyLab. (2016, octubre). *PLANTADAC: Planta de Biogás Compacta*. PLANTADAC: Planta de

Biogás Compacta. Recuperado a 29 de marzo de 2024, de

<https://energylab.es/listado/plantadac-planta-biogas-compacta/>

Eustat. (2024, 8 marzo). *Tablas estadísticas: Gasto en I+D interna (% PIB) por país. 2011-2022*.

Eustat. Recuperado a 22 de abril de 2024, de

https://www.eustat.eus/elementos/ele0003200/ti_Gasto_en_ID__PIB_por_pais_1997_2012/tbl0003292_c.html

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Greenhouse gas emissions de*

agrifood systems. Recuperado a 28 de febrero de 2024, de

<https://www.fao.org/3/cc2672en/cc2672en.pdf>

Friol, C. (2022, October 28). *Consejos para mejorar la gestión del agua en las ganaderías de*

leche. Campo Galego. Recuperado a 29 de marzo de 2024, de

<https://www.campogalego.es/consejos-para-mejorar-la-gestion-del-auga-en-las-ganaderias-de-leche/>

García Herrera, V. (2019, enero 30). *Inteligencia en los negocios. Conceptos fundamentales -*

gestiopolis. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de

<https://www.gestiopolis.com/inteligencia-en-los-negocios-conceptos-fundamentales/>

Gartner Research. (2024). *Best Analytics and Business Intelligence Platforms Reviews 2024*.

Gartner. Recuperado a 20 de junio de 2024, de

<https://www.gartner.com/reviews/market/analytics-business-intelligence-platforms>

Gina, B., & Budree, A. (2020). *A Review of Literature on Critical Factors that Drive the Selection of Business Intelligence Tools*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9183852>

Gobierno de España. (2023, septiembre). *Transformación agroalimentaria y pesquera*. Plan de

Recuperación, Transformación y Resiliencia. Recuperado a 10 de abril de 2024, de

<https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-3-transformacion-ambiental-y-digital-del-sistema-agroalimentario>

Gobierno de España. (2023, 20 septiembre). *¿Qué es la economía circular?* Plan de

Recuperación, Transformación y Resiliencia. Recuperado a 5 de marzo de 2024, de

<https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-la-economia-circular-prtr>

INE. (2022, 4 mayo). *INE. Censo Agrario 2020*. INE. Recuperado a 10 de abril de 2024, de

<https://www.ine.es/censoagrario2020/presentacion/index.htm>

Lago, C. (2018, 18 julio). *150 years of business intelligence: A brief history*. CIO. Recuperado a 6

de marzo de 2024, de <https://www.cio.com/article/221963/history-of-business-intelligence.html>

Lozano González, D. (2023, 21 noviembre). *¿Cómo es el sector primario en Galicia?* Recuperado

a 10 de abril de 2024, de [http://linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-es-el-sector-](http://linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-es-el-sector-primario-en-galicia-algunos-datos-lozano-gonz%C3%A1lez-jzvvhf?originalSubdomain=es)

[primario-en-galicia-algunos-datos-lozano-gonz%C3%A1lez-jzvvhf?originalSubdomain=es](http://linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-es-el-sector-primario-en-galicia-algunos-datos-lozano-gonz%C3%A1lez-jzvvhf?originalSubdomain=es)

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2018, 16 enero). *ESPAÑA*

CIRCULAR 2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Recuperado a 26 de febrero de 2024, de

[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532_mod_tcm30-509532.pdf)

[509532_mod_tcm30-509532.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532_mod_tcm30-509532.pdf)

Ministry of Infrastructure and the Environment. (2016, septiembre). *A circular economy in the Netherlands by 2050*. OECD. Recuperado a 26 de marzo de 2024, de

<https://www.oecd.org/environment/ministerial/whatsnew/2016-ENV-Ministerial-Netherlands-Circular-economy-in-the-Netherlands-by-2050.pdf>

Molina, E. (2022, 6 mayo). *Subproductos agroindustriales y residuos de cosecha para reducir la dependencia de los cereales en los piensos*. RETEMA. Recuperado a 6 de marzo de

2024, de <https://www.retema.es/actualidad/subproductos-agroindustriales-residuos-cosecha-reducir-dependencia-cereales-piensos>

Ordoñez Salinas, S., & Nieto Lemus, A. C. (2017, abril). *Data Warehouse and Big Data*

Integration. CORE. Recuperado a 21 de junio de 2024, de

<https://airconline.com/ijcsit/V9N2/9217ijcsit01.pdf>

Parlamento Europeo. (2018). *Circular Economy | EPRS | European Parliament*. Recuperado a 5 de marzo de 2024, de

<https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>

Parlamento Europeo. (2023, 24 mayo). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*.

Economía circular: definición, importancia y beneficios | Temas | Parlamento Europeo.

Recuperado a 5 de marzo de 2024, de

<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

Repsol. (n.d.). *¿Qué es el biogás y cómo se obtiene? Conoce sus ventajas*. Repsol. Recuperado a

10 de abril de 2024, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biogas/index.cshtml>

Signaturit Group. (2024, 19 febrero). *¿Qué es Business Intelligence (BI) y qué herramientas*

existen? Signaturit. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de

<https://www.signaturit.com/es/blog/que-es-business-intelligence-bi-y-que-herramientas-existen/>

Silva Solano, L. E. (2017). Business Intelligence: un balance para su implementación. *INNOVAG*, (3), 27-36. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/innovag/article/view/19742/19808>

SimDataGroup. (2022, 4 mayo). *Business Intelligence: qué es, para qué sirve y sus principales herramientas*. Business Intelligence. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de <https://www.linkedin.com/pulse/business-intelligence-qu%C3%A9-es-para-sirve-y-sus-principales-herramientas-/?originalSubdomain=es>

Tableau Software. (n.d.). *Inteligencia de negocios: qué es y por qué es importante*. Tableau. Recuperado a 6 de marzo de 2024, de <https://www.tableau.com/es-es/learn/articles/business-intelligence>

Tribunal de Cuentas Europeo. (2023). *Economía circular Transición lenta de los Estados miembros a pesar de la acción de la UE*. Informe especial 17/2023. Recuperado a 11 de abril de 2024, de https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-17/SR-2023-17_ES.pdf

Tyrychtr, J., Ulman, M., & Vostrovsky, V. (2015). *Evaluation of the state of the Business Intelligence among small Czech farms*. Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika). Recuperado a 6 de junio de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/276394696_Evaluation_of_the_state_of_the_Business_Intelligence_among_small_Czech_farms

Xunta de Galicia. (2019). *Estrategia Gallega de Economía Circular*. Xunta de Galicia. Recuperado a 29 de marzo de 2024, de https://ficheiros-web.xunta.gal/transparencia/informacion-publica/EGEC_cas.pdf

Xunta de Galicia. (2023, 31 enero). *DOG 21 del 31/1/2023 - RESOLUCIÓN de 29 de diciembre de 2022 por la que se da publicidad del Acuerdo del Consejo de Dirección que aprueba las bases reguladoras de las ayudas a la implantación de soluciones avanzadas para el*

desarrollo de la ... Recuperado a 10 de abril de 2024, de

https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2023/20230131/AnuncioO92-090123-0001_es.html

Xunta de Galicia. (2023, 30 junio). *DOG 124 do 30/6/2023 - ORDE do 27 de xuño de 2023 pola que se establecen as bases reguladoras de concesión das axudas aos investimentos en sistemas de xestión de estercos en gandaría e a aplicación de agricultura de precisión e tecnoloxías 4.0 ...* Xunta de Galicia. Recuperado a 2 de abril de 2024, de

https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2023/20230630/AnuncioG0426-270623-0003_gl.html

Anexo I

Resultados de el árbol de regresión.

```
ViabilidadEconomicaB > 969
|  GestionResiduosA > 0.676
|  |  ViabilidadEconomicaA > 0.569
|  |  |  GestionAguaE > 2944431.329
|  |  |  |  GestionResiduosE > 0.985: 55.000 {count=2}
|  |  |  |  GestionResiduosE ≤ 0.985
|  |  |  |  |  GestionAguaE > 5556815.253
|  |  |  |  |  |  GestionAguaF > 0.219
|  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosF > 0.165
|  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaC > 0.896: 80.000 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaC ≤ 0.896: 70.909 {count=11}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosF ≤ 0.165: 87.500 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaF ≤ 0.219: 90.000 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaE ≤ 5556815.253
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaB > 127946.163: 83.333 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaB ≤ 127946.163: 97.500 {count=4}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaE ≤ 2944431.329
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaB > 99599.303: 92.500 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaB ≤ 99599.303: 100.000 {count=6}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaA ≤ 0.569
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaC > 0.493
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA > 0.875: 61.000 {count=5}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA ≤ 0.875
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesA > 0.542
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaF > 0.607: 90.000 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaF ≤ 0.607: 96.667 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesA ≤ 0.542
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA > 0.841: 88.333 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA ≤ 0.841
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA > 0.804: 67.500 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA ≤ 0.804: 75.000 {count=4}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaC ≤ 0.493
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaD > 0.701: 93.000 {count=5}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  ViabilidadEconomicaD ≤ 0.701
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesA > 0.502
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaE > 5182142.502: 61.667 {count=3}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaE ≤ 5182142.502: 75.000 {count=4}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesA ≤ 0.502
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosC > 0.857: 30.000 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosC ≤ 0.857
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesC > 0.745
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA > 0.877: 45.000 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionResiduosA ≤ 0.877: 37.500 {count=2}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionNutrientesC ≤ 0.745
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaA > 873.740: 57.143 {count=7}
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  GestionAguaA ≤ 873.740: 50.000 {count=3}
```

| GestionResiduosA ≤ 0.676
| | GestionResiduosB > 0.698
| | | ViabilidadEconomicaE > 14072.707
| | | | GestionResiduosC > 0.477
| | | | | ViabilidadEconomicaC > 0.363
| | | | | | ViabilidadEconomicaE > 82872.150: 85.000 {count=3}
| | | | | | ViabilidadEconomicaE ≤ 82872.150
| | | | | | | GestionEnergial > 62191.151
| | | | | | | | GestionEnergiaH > 65605.145: 70.000 {count=3}
| | | | | | | | GestionEnergiaH ≤ 65605.145: 76.250 {count=4}
| | | | | | | | GestionEnergial ≤ 62191.151: 61.667 {count=3}
| | | | | ViabilidadEconomicaC ≤ 0.363
| | | | | | GestionResiduosI = concentrados: 61.667 {count=3}
| | | | | | GestionResiduosI = suplementos: 42.500 {count=2}
| | | | | GestionResiduosC ≤ 0.477
| | | | | | GestionResiduosA > 0.056
| | | | | | | GestionNutrientesA > 0.911: 100.000 {count=3}
| | | | | | | GestionNutrientesA ≤ 0.911
| | | | | | | | ViabilidadEconomicaE > 69509.222: 84.286 {count=7}
| | | | | | | | ViabilidadEconomicaE ≤ 69509.222
| | | | | | | | | GestionResiduosH > 23: 80.000 {count=3}
| | | | | | | | | GestionResiduosH ≤ 23: 75.000 {count=3}
| | | | | | GestionResiduosA ≤ 0.056
| | | | | | | GestionResiduosD > 1.037: 65.000 {count=2}
| | | | | | | GestionResiduosD ≤ 1.037: 72.500 {count=2}
| | | | | | | ViabilidadEconomicaE ≤ 14072.707: 52.857 {count=7}
| | | | | GestionResiduosB ≤ 0.698
| | | | | | GestionResiduosC > 0.684
| | | | | | | GestionNutrientesC > 0.209
| | | | | | | | GestionResiduosI = concentrados
| | | | | | | | | GestionAguaF > 0.407
| | | | | | | | | | GestionEnergial > 21401.532: 58.750 {count=4}
| | | | | | | | | | GestionEnergial ≤ 21401.532: 65.000 {count=2}
| | | | | | | | | | GestionAguaF ≤ 0.407: 80.000 {count=2}
| | | | | | | | | | GestionResiduosI = forraje: 67.500 {count=6}
| | | | | | | | | | GestionResiduosI = suplementos
| | | | | | | | | | | GestionAguaC > 0.225: 86.667 {count=3}
| | | | | | | | | | | GestionAguaC ≤ 0.225: 72.500 {count=2}
| | | | | | | | | | | GestionNutrientesC ≤ 0.209: 95.000 {count=3}
| | | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.684
| | | | | | | | | GestionResiduosC > 0.083
| | | | | | | | | | GestionResiduosG > 0.587
| | | | | | | | | | | GestionAguaA > 772.203
| | | | | | | | | | | | GestionResiduosG > 0.872: 52.500 {count=8}
| | | | | | | | | | | | GestionResiduosG ≤ 0.872: 41.000 {count=10}
| | | | | | | | | | | | | GestionAguaA ≤ 772.203
| | | | | | | | | | | | | | GestionAguaE > 1775286.926
| | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD > 1.206: 62.500 {count=4}
| | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD ≤ 1.206: 50.000 {count=3}
| | | | | | | | | | | | | | | | | GestionAguaE ≤ 1775286.926: 85.000 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosG ≤ 0.587
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosE > 0.521

| | | | | | | | GestionEnergiaG > 74247.164
| | | | | | | | | ViabilidadEconomicaD > 0.425: 26.250 {count=4}
| | | | | | | | | ViabilidadEconomicaD ≤ 0.425: 6.667 {count=6}
| | | | | | | | | GestionEnergiaG ≤ 74247.164
| | | | | | | | | GestionAguaC > 0.767: 70.000 {count=2}
| | | | | | | | | GestionAguaC ≤ 0.767: 33.214 {count=14}
| | | | | | | | | GestionResiduosE ≤ 0.521
| | | | | | | | | ViabilidadEconomicaA > 0.766
| | | | | | | | | GestionResiduosB > 0.308: 57.500 {count=2}
| | | | | | | | | GestionResiduosB ≤ 0.308: 65.000 {count=2}
| | | | | | | | | ViabilidadEconomicaA ≤ 0.766
| | | | | | | | | GestionResiduosF > 0.460: 36.538 {count=13}
| | | | | | | | | GestionResiduosF ≤ 0.460: 50.000 {count=8}
| | | | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.083
| | | | | | | | | GestionAguaD > 0.460
| | | | | | | | | GestionResiduosC > 0.032
| | | | | | | | | GestionResiduosB > 0.206: 60.000 {count=3}
| | | | | | | | | GestionResiduosB ≤ 0.206: 65.000 {count=2}
| | | | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.032: 55.000 {count=2}
| | | | | | | | | GestionAguaD ≤ 0.460
| | | | | | | | | GestionResiduosC > 0.040: 72.500 {count=2}
| | | | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.040: 95.000 {count=3}
ViabilidadEconomicaB ≤ 969
| | | | | | | | | GestionNutrientesC > 0.956: 44.000 {count=5}
| | | | | | | | | GestionNutrientesC ≤ 0.956
| | | | | | | | | | GestionResiduosE > 0.036
| | | | | | | | | | | GestionNutrientesC > 0.556
| | | | | | | | | | | GestionResiduosB > 0.585
| | | | | | | | | | | GestionEnergiaB > 0.532
| | | | | | | | | | | GestionAguaA > 229.925
| | | | | | | | | | | | GestionEnergiaH > 90782.928: 90.000 {count=3}
| | | | | | | | | | | | GestionEnergiaH ≤ 90782.928
| | | | | | | | | | | | | GestionEnergiaC > 0.772: 82.500 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | GestionEnergiaC ≤ 0.772: 75.000 {count=7}
| | | | | | | | | | | | | GestionAguaA ≤ 229.925: 60.000 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | GestionEnergiaB ≤ 0.532
| | | | | | | | | | | | | GestionAguaF > 0.721
| | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD > 1.048: 55.000 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD ≤ 1.048: 50.000 {count=3}
| | | | | | | | | | | | | | GestionAguaF ≤ 0.721: 65.000 {count=4}
| | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosB ≤ 0.585
| | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosC > 0.522
| | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosF > 0.880: 78.750 {count=4}
| | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosF ≤ 0.880
| | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosH > 6: 99.375 {count=8}
| | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosH ≤ 6: 85.000 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.522
| | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosA > 0.256
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD > 0.841: 82.500 {count=4}
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosD ≤ 0.841: 70.000 {count=2}
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionResiduosA ≤ 0.256: 56.667 {count=3}
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GestionNutrientesC ≤ 0.556

| | | | GestionAguaD > 0.245
| | | | | GestionEnergiaF > 0.768
| | | | | | GestionEnergiaH > 78588.907: 89.167 {count=6}
| | | | | | GestionEnergiaH ≤ 78588.907: 100.000 {count=8}
| | | | | GestionEnergiaF ≤ 0.768
| | | | | | GestionEnergiaD > 1.318
| | | | | | | GestionResiduosA > 0.494: 57.500 {count=2}
| | | | | | | GestionResiduosA ≤ 0.494: 81.667 {count=3}
| | | | | | | GestionEnergiaD ≤ 1.318
| | | | | | | | GestionAguaC > 0.886: 71.667 {count=3}
| | | | | | | | GestionAguaC ≤ 0.886
| | | | | | | | | GestionAguaD > 0.685: 80.625 {count=8}
| | | | | | | | | GestionAguaD ≤ 0.685: 93.611 {count=18}
| | | | | GestionAguaD ≤ 0.245
| | | | | | GestionResiduosD > 0.842
| | | | | | | GestionResiduosA > 0.342: 70.000 {count=2}
| | | | | | | GestionResiduosA ≤ 0.342: 65.000 {count=2}
| | | | | | | | GestionResiduosD ≤ 0.842: 80.000 {count=5}
| | | | | | | | | GestionResiduosE ≤ 0.036: 32.500 {count=2}

Anexo II

Resultados del árbol de decisión.

GestionNutrientesC > 0.792

- | ViabilidadEconomicaD > 0.700
 - | | GestionResiduosD > 1.141: 2 {0=0, 2=5, 3=1, 1=0}
 - | | GestionResiduosD ≤ 1.141
 - | | | GestionResiduosB > 0.209
 - | | | | GestionEnergiaG > 91601.739: 2 {0=0, 2=2, 3=0, 1=0}
 - | | | | GestionEnergiaG ≤ 91601.739: 3 {0=0, 2=0, 3=14, 1=1}
 - | | | | GestionResiduosB ≤ 0.209
 - | | | | | GestionResiduosD > 0.872: 0 {0=1, 2=1, 3=0, 1=0}
 - | | | | | GestionResiduosD ≤ 0.872: 1 {0=0, 2=0, 3=0, 1=2}
- | ViabilidadEconomicaD ≤ 0.700
 - | | GestionResiduosB > 0.103
 - | | | GestionAguaD > 0.088
 - | | | | ViabilidadEconomicaA > 0.063
 - | | | | | ViabilidadEconomicaD > 0.017
 - | | | | | | GestionResiduosD > 1.490: 3 {0=1, 2=1, 3=2, 1=1}
 - | | | | | | GestionResiduosD ≤ 1.490: 2 {0=4, 2=41, 3=5, 1=8}
 - | | | | | | ViabilidadEconomicaD ≤ 0.017: 3 {0=0, 2=0, 3=2, 1=1}
 - | | | | | | ViabilidadEconomicaA ≤ 0.063: 1 {0=0, 2=1, 3=1, 1=4}
 - | | | | | GestionAguaD ≤ 0.088
 - | | | | | | GestionAguaC > 0.333: 3 {0=0, 2=0, 3=3, 1=0}
 - | | | | | | GestionAguaC ≤ 0.333: 1 {0=0, 2=0, 3=0, 1=2}
 - | | | GestionResiduosB ≤ 0.103: 3 {0=0, 2=0, 3=5, 1=1}

GestionNutrientesC ≤ 0.792

- | GestionAguaE > 8722064.565
 - | | GestionAguaC > 0.754
 - | | | GestionAguaE > 8939261.804: 3 {0=1, 2=1, 3=9, 1=0}
 - | | | GestionAguaE ≤ 8939261.804: 2 {0=0, 2=2, 3=0, 1=0}
 - | | GestionAguaC ≤ 0.754
 - | | | GestionNutrientesC > 0.094
 - | | | | GestionAguaE > 9801335.232
 - | | | | | GestionResiduosC > 0.457: 0 {0=1, 2=1, 3=0, 1=0}
 - | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.457: 1 {0=0, 2=0, 3=0, 1=3}
 - | | | | | GestionAguaE ≤ 9801335.232: 2 {0=0, 2=17, 3=1, 1=0}
 - | | | | GestionNutrientesC ≤ 0.094: 3 {0=0, 2=0, 3=3, 1=0}
- | GestionAguaE ≤ 8722064.565
 - | | GestionResiduosA > 0.024
 - | | | ViabilidadEconomicaB > 3361.500
 - | | | | GestionAguaA > 1416.454
 - | | | | | ViabilidadEconomicaA > 0.780: 2 {0=0, 2=2, 3=0, 1=0}
 - | | | | | ViabilidadEconomicaA ≤ 0.780: 1 {0=1, 2=0, 3=1, 1=6}
 - | | | | | GestionAguaA ≤ 1416.454
 - | | | | | | GestionResiduosC > 0.184: 2 {0=0, 2=8, 3=1, 1=1}
 - | | | | | | GestionResiduosC ≤ 0.184: 3 {0=0, 2=0, 3=3, 1=0}
 - | | | ViabilidadEconomicaB ≤ 3361.500

| | | | GestionEnergiaD > 1.638
| | | | | GestionResiduosC > 0.929: 3 {0=0, 2=0, 3=2, 1=0}
| | | | | GestionResiduosC ≤ 0.929: 2 {0=0, 2=5, 3=0, 1=0}
| | | | GestionEnergiaD ≤ 1.638
| | | | | GestionResiduosB > 0.005
| | | | | | GestionEnergiaD > 0.612
| | | | | | | ViabilidadEconomicaE > 6055.836
| | | | | | | | GestionEnergial > 99434.602: 2 {0=0, 2=2, 3=0, 1=0}
| | | | | | | | GestionEnergial ≤ 99434.602: 3 {0=8, 2=63, 3=175, 1=34}
| | | | | | | | ViabilidadEconomicaE ≤ 6055.836
| | | | | | | | GestionEnergiaC > 0.585: 1 {0=0, 2=0, 3=0, 1=3}
| | | | | | | | GestionEnergiaC ≤ 0.585: 2 {0=1, 2=5, 3=2, 1=0}
| | | | | | | | GestionEnergiaD ≤ 0.612
| | | | | | | | GestionEnergiaA > 0.449: 1 {0=0, 2=0, 3=1, 1=4}
| | | | | | | | GestionEnergiaA ≤ 0.449
| | | | | | | | GestionNutrientesC > 0.331: 2 {0=0, 2=5, 3=0, 1=0}
| | | | | | | | GestionNutrientesC ≤ 0.331: 3 {0=0, 2=0, 3=2, 1=0}
| | | | | | | | GestionResiduosB ≤ 0.005: 2 {0=0, 2=2, 3=0, 1=1}
| | | | | | | | GestionResiduosA ≤ 0.024
| | | | | | | | GestionResiduosB > 0.437
| | | | | | | | GestionAguaB > 183086.891: 0 {0=1, 2=0, 3=0, 1=1}
| | | | | | | | GestionAguaB ≤ 183086.891: 2 {0=0, 2=7, 3=0, 1=0}
| | | | | | | | GestionResiduosB ≤ 0.437: 3 {0=0, 2=1, 3=3, 1=0}