



USO DE DATOS SINTÉTICOS PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DE INNOVACIONES CIRCULARES EN EL SECTOR SERVICIOS

Miguel López Barrio
Javier Carrillo-Hermosilla

USO DE DATOS SINTÉTICOS PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DE INNOVACIONES CIRCULARES EN EL SECTOR SERVICIOS*

RESUMEN

Este trabajo lleva a cabo la exploración de la economía circular en el sector terciario, principalmente en el sector turístico. Buscando dar respuesta a los principales desafíos actuales generados por la escasez de datos y la necesidad de herramientas capaces de ayudar a tomar decisiones de inversión en este ámbito, el estudio propone una metodología de evaluación que combina el uso de datos sintéticos, modelos de inteligencia artificial y validación experta para construir una herramienta que aspira a ayudar a los agentes implicados (empresas, sector público, ciudadanos, etc.) a predecir los posibles rendimientos de inversiones en innovaciones circulares. Para ello, se comienza analizando tres casos reales de innovación circular en grandes cadenas hoteleras (Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group y Accor), lo que permite identificar variables clave para evaluar el impacto económico, ambiental y social de cada iniciativa. Para alcanzar los anteriores objetivos, en este TFG se construye una estructura de puntuación replicable que sirve de base para entrenar un modelo predictivo capaz de anticipar el rendimiento de futuras innovaciones circulares simuladas mediante datos sintéticos. Esta investigación combina una revisión teórica con un enfoque metodológico mixto y ofrece un marco útil y replicable para la toma de decisiones en sostenibilidad turística.

Palabras clave: Economía circular, Sector servicios, Inteligencia artificial, Datos sintéticos, Innovaciones Circulares, Modelo Predictivo, Expertos.

ABSTRACT

This work explores the circular economy in the tertiary sector, primarily in the tourism sector. Seeking to address the main current challenges generated by data scarcity and the need for tools capable of assisting in investment decision-making in this area, the study proposes an evaluation methodology that combines the use of synthetic data, artificial intelligence models, and expert validation to build a tool that aims to help stakeholders (companies, the public sector, citizens, etc.) predict the potential returns on investments in circular innovations. To do so, it begins by analyzing three real-life cases of circular innovation in large hotel chains (Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group, and Accor), which allows for the identification of key variables to assess the economic, environmental, and social impact of each initiative. To achieve the objectives, this Final Degree Project constructs a replicable scoring structure that serves as the basis for training a predictive model capable of anticipating the performance of future circular innovations simulated

using synthetic data. This research combines a theoretical review with a mixed-methodological approach, offering a useful and replicable framework for decision-making in tourism sustainability.

Key words: Circular economy, Service sector, Artificial intelligence, Synthetic data, Circular innovations, Predictive model, Experts.

AUTORÍA

MIGUEL LÓPEZ BARRIO. Universidad de Alcalá (UAH).

JAVIER CARRILLO-HERMOSILLA. Universidad de Alcalá (UAH)

javier.carrillo@uah.es

*Este documento tiene su origen en Trabajo Fin de Grado presentado por Miguel López Barrio bajo la dirección de Javier Carrillo-Hermosilla para el Grado en Economía y Negocios Internacionales de la Universidad de Alcalá.

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Antecedentes	16
2.1. Economía Circular	16
2.2. Innovaciones Circulares en el Sector del Turismo	23
2.3. Modelos Predictivos y Economía Circular	30
3. Metodología	35
4. Análisis y Resultados	50
4.1. Presentación y análisis de los casos de estudio	60
4.2. Evaluación comparativa de los casos para crear la metodología de análisis.....	67
4.3. La generación de datos sintéticos.....	79
4.4. Modelo de IA.....	86
4.5. Proceso Global.....	91
5. Discusión.....	95
6. Conclusiones y limitaciones	99
7. Bibliografía	104
8. Anexos.....	114

1. Introducción

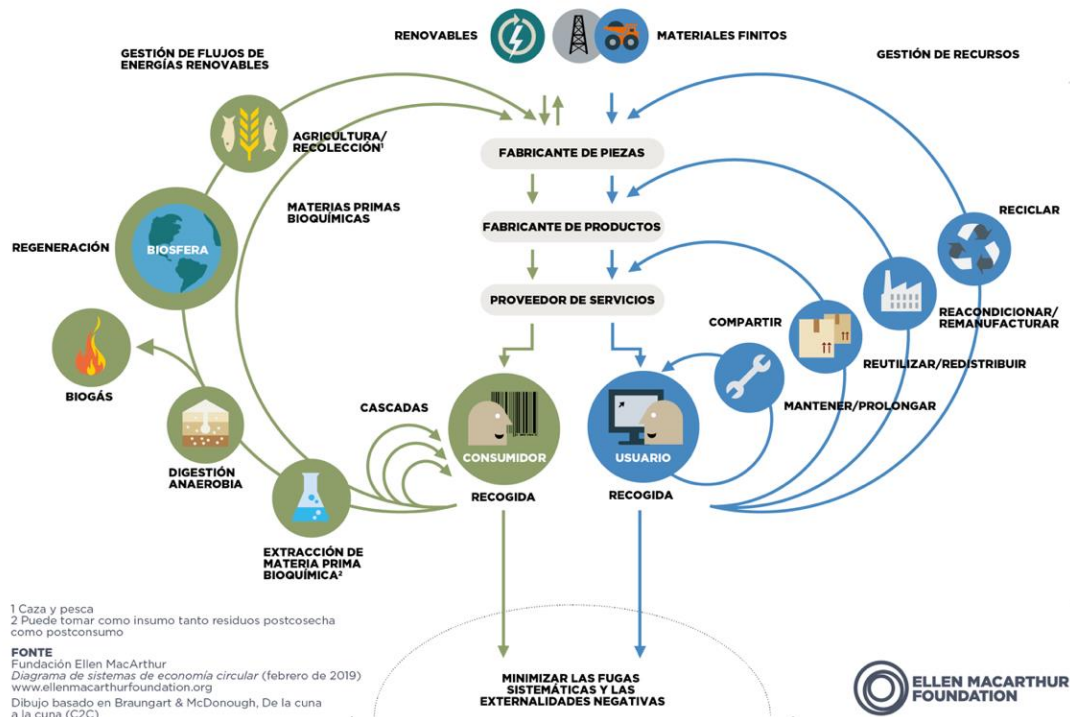
En las últimas décadas, la economía circular (en adelante, EC) ha surgido como uno de los enfoques más importantes a la hora de manejar los problemas globales relacionados con el cambio climático, el manejo de recursos y la sostenibilidad económica. Este diseño quiere cambiar un modelo antiguo basado en la idea "obtener-usar-tirar" por un sistema más eficiente, basado en la reutilización, regeneración y reciclaje de materiales (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Su implementación en el sector servicios, que representa una parte significativa de la economía global, ofrece un gran potencial para reducir el impacto ambiental y aumentar la resiliencia empresarial (OECD, 2021). Sin embargo, medir y evaluar el impacto de estas innovaciones circulares sigue siendo un desafío, y, si queremos predecir el comportamiento y resultados que tendrán antes de ser puestas en marcha, se eleva el desafío a una nueva dimensión (Kalmykova et al., 2018).

En este trabajo usaremos dos definiciones de Economía Circular ya que de esta manera se tienen dos puntos de vista diferentes sobre una misma cuestión permitiendo contrastarlas y llevar a cabo un mejor análisis, la primera de la Fundación Ellen MacArthur: 'La economía circular es un marco de soluciones sistémicas que hace frente a desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación'. (Ellen MacArthur Foundation, s.f.). Según la misma fundación, este modelo podría reducir en un 45% las emisiones globales de gases de efecto invernadero. La segunda definición en la que nos apoyaremos es la siguiente: "La economía circular representa un paradigma transformador diseñado para reducir los residuos y maximizar la eficiencia en el uso de recursos mediante estrategias de reutilización, reciclaje y regeneración" (del Río, Kiefer, Carrillo-Hermosilla y Könnölä, 2021).

En la Figura 1, que presenta el llamado popularmente "diagrama de mariposa" de la economía circular, se aprecia el funcionamiento práctico de la misma (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Figura 1. Diagrama de mariposa



Fuente: Ellen MacArthur Foundation, s.f.

El sector servicios, caracterizado por su dinamismo y diversidad, incluye actividades como transporte, turismo, logística, educación y tecnologías de la información; a lo largo de estas páginas nos centraremos en el turismo. El turismo es uno de los sectores económicos más grandes y de más rápido crecimiento en el mundo. Según la Organización Mundial del Turismo (OMT), en el año 2024 contribuyó con aproximadamente un 10% del PIB mundial y 357 millones de empleos, equivalentes a 1 de cada 10 trabajos (WTTC, 2024). Debido a su gran tamaño y crecimiento, tiene un impacto significativo en el consumo de los recursos naturales y en la generación de residuos. Se estima que el sector turístico es responsable del 6,5% de las emisiones globales de CO₂, derivadas principalmente del transporte, el alojamiento y la alimentación (WTTC, 2024). Se están llevando a cabo importantes políticas de sostenibilidad en el turismo en los últimos años. En noviembre de 2024, más de 50 países firmaron una declaración de la ONU para impulsar el turismo climáticamente responsable, comprometiéndose a monitorizar y reportar huella ecológica, agua,

residuos y energía (Reuters, 2024). Por ello y otras varias razones, el sector turístico se convierte en el foco de este estudio.

Dicho sector representa una pieza clave en la economía española, por su peso económico y social. En 2023, la actividad turística generó en España 184.002 millones de euros, lo que representó un 12,3% del Producto Interior Bruto (PIB), aumentando 0,9 puntos respecto al año anterior. Además, las ramas características del turismo generaron más de 2,5 millones de puestos de trabajo, equivalentes al 11,6% del empleo total nacional (INE, 2024a).

España recibió cerca de 85,1 millones de turistas internacionales en el año 2023, lo que supuso un incremento del 18,7% respecto al año 2022, consolidando su posición como uno de los principales destinos turísticos del mundo (INE, 2024b).

El turismo está experimentando una transformación digital muy rápida, con un aumento muy importante del uso de Big Data, inteligencia artificial (en adelante, IA) y modelos predictivos para mejorar la sostenibilidad y la experiencia del viajero (Buhalis & Sinarta, 2019). Las innovaciones circulares apoyadas en herramientas digitales pueden tomar muchas formas, como, por ejemplo, modelos de negocio basados en el uso compartido, como el alojamiento entre particulares o el *carsharing*, hasta estrategias de digitalización que optimizan el uso de recursos y reducen el desperdicio (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Más concretamente, en el sector turístico, dentro de las actividades de alojamiento, estas innovaciones se traducen en prácticas como hoteles y alojamientos sostenibles, que minimizan el consumo energético y el uso de plásticos de un solo uso; el transporte turístico sostenible, que prioriza vehículos eléctricos o compartidos; la gastronomía circular, que apuesta por productos locales, de temporada y sin desperdicio alimentario; y el turismo regenerativo, enfocado en restaurar y conservar los destinos turísticos a través de una implicación activa con el entorno y las comunidades locales (UNEP, 2021; Gómez-Vega et al., 2023).

A pesar de las oportunidades que muestran estos ejemplos, las empresas del sector turístico y de servicios en general han enfrentado importantes barreras a la hora de implementar innovaciones circulares. Una de las principales limitaciones y uno de los temas centrales de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es la falta de datos confiables, completos, relevantes y con respeto a la privacidad que permitan evaluar adecuadamente la viabilidad, el impacto ambiental y el retorno económico de estas iniciativas. Esta escasez de datos dificulta la toma de decisiones basada en evidencia y retrasa la adopción de estrategias circulares (Kalmykova et al., 2018).

Además, relacionado con la obtención de los datos, la recopilación y análisis de datos existentes supone una carga significativa en términos de tiempo y recursos humanos. Muchas empresas, especialmente las pequeñas y medianas (pymes), carecen de herramientas digitales y de capacidades analíticas que les permitan procesar información sobre materiales, emisiones, consumo energético o ciclos de vida de productos (European Environment Agency [EEA], 2021). Esto provoca una dependencia de consultoras externas o bases de datos fragmentadas, lo que ralentiza los procesos y aumenta los costes de implementación.

Otra barrera es la necesidad de cumplir con normativas estrictas en materia de privacidad y protección de datos, especialmente al trabajar con información de clientes o usuarios. Esto implica que, incluso cuando se dispone de datos útiles, su uso para entrenar modelos predictivos u optimizar procesos debe estar cuidadosamente regulado, respetando principios como el consentimiento informado y la anonimización (European Commission, 2020).

En definitiva, el uso de soluciones basadas en IA en el ámbito de la economía circular enfrenta diversos problemas relacionados con la disponibilidad, calidad y accesibilidad de los datos. La escasez de información fiable, la alta carga operativa que supone la recopilación manual de datos y las crecientes restricciones legales vinculadas a la protección de la privacidad, especialmente tras la entrada en vigor de normativas como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en Europa, dificultan el desarrollo de modelos predictivos sólidos y replicables (European Commission, 2020). Esta situación es especialmente importante en el sector turístico, donde los datos

vinculados al consumo, ocupación hotelera o gestión de residuos suelen ser sensibles, incompletos y no fácilmente expuestos por las empresas, lo que limita la posibilidad de entrenar modelos de IA de manera adecuada o de crear metodologías de análisis de calidad (Zhao, Song & Liu, 2019).

Teniendo en cuenta esta combinación de factores, la generación de datos sintéticos se presenta como una solución estratégica para superar las limitaciones existentes. Los datos sintéticos son definidos como conjuntos de datos generados artificialmente mediante algoritmos capaces de reproducir las características estadísticas de los datos reales, permitiendo simular escenarios operativos realistas sin comprometer la privacidad de los usuarios (Goncalves et al., 2020). Facilitan la ampliación de los volúmenes de datos disponibles, mejoran la diversidad de las muestras para entrenar modelos y contribuyen a equilibrar posibles sesgos presentes en los datos históricos, especialmente en casos donde la experiencia previa es limitada o heterogénea.

De esta forma no solo permiten reducir la dependencia de grandes conjuntos de datos reales difíciles de obtener, sino que además aportan flexibilidad para experimentar con múltiples escenarios, favoreciendo la anticipación de resultados y la toma de decisiones informadas en procesos de innovación circular. En el contexto de este TFG, el uso de datos sintéticos resulta fundamental para simular y predecir el rendimiento de futuras innovaciones en el sector turístico, ofreciendo una vía metodológica robusta para evaluar el impacto económico, ambiental y social de distintas estrategias sin los condicionantes que imponen los datos reales.

Las inversiones necesarias para implementar innovaciones circulares en el sector turístico suelen ser muy altas, lo que representa una barrera importante para muchas organizaciones, en particular para las pequeñas y medianas empresas (PYMEs). Estas empresas constituyen una gran parte del tejido empresarial turístico en países como España, y a menudo no disponen del capital suficiente ni del margen financiero necesario para asumir los costes iniciales asociados a la transición hacia modelos más sostenibles, como la renovación de infraestructuras, la adopción de nuevas tecnologías o el rediseño de procesos logísticos (Ghisellini, Cialani y Ulgiati, 2016).

Aunque diversas investigaciones han demostrado que estas inversiones pueden generar beneficios a medio y largo plazo, como el ahorro en consumo energético, la reducción de residuos o la mejora de la reputación corporativa, la falta de financiación específica y de incentivos públicos adecuados frena considerablemente su adopción (EEA, 2021). De manera adicional a esto, se suma el hecho de que los mecanismos de apoyo institucional o fiscal suelen estar más orientados a grandes empresas o sectores industriales, dejando a las PYMEs en una situación de mayor vulnerabilidad frente al cambio.

Existen muchos estudios que han profundizado en los factores que impulsan o dificultan la implementación de innovaciones circulares, lo cual resulta especialmente relevante en sectores como el turismo, donde la transición hacia modelos sostenibles puede generar beneficios significativos, pero también enfrenta retos considerables.

Por ejemplo, el estudio cuantitativo realizado por Kiefer, del Río y Carrillo-Hermosilla (2019) analiza cómo distintos tipos de eco-innovaciones, desde mejoras incrementales hasta transformaciones sistémicas, requieren diferentes recursos, competencias y capacidades organizativas. Los autores explican que la capacidad de una empresa para innovar de manera sostenible depende en gran medida de sus recursos intangibles, como el conocimiento, el aprendizaje organizacional o la orientación hacia la sostenibilidad. Asimismo, identifican como principales impulsores de estas innovaciones la cultura empresarial favorable, la presión normativa y la participación en cadenas de suministro sostenibles, mientras que entre las barreras más comunes se encuentran la falta de apoyo institucional, la incertidumbre económica y la escasez de financiación específica (del Río, et al. 2019).

Por otro lado, en el capítulo 5 del libro *The Circular Economy – Economic, Managerial and Policy Implications*, los mismos autores junto a Könnölä (2021) desarrollan un enfoque más amplio, abordando no solo los factores empresariales, sino también las implicaciones económicas y políticas de la transición circular. El texto propone marcos normativos e instrumentos de política pública que pueden favorecer la adopción de prácticas circulares, especialmente en sectores donde predominan las pequeñas y medianas empresas (PYMEs), como es el caso del turismo. También se señala que el

éxito de la economía circular depende tanto de la adaptabilidad de las empresas como del diseño de políticas que eliminen barreras estructurales, como la falta de incentivos fiscales o la rigidez normativa (del Río, et al. 2021).

Ante las muchas complicaciones que tienen las empresas turísticas para implementar innovaciones circulares, la IA se presenta como una de las herramientas clave para superarlas. Gracias a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, detectar patrones complejos y generar predicciones precisas, la IA permite automatizar procesos, optimizar decisiones y simular escenarios sin depender exclusivamente de datos reales, lo cual es especialmente útil en contextos donde la información es escasa o sensible.

La IA se define como la capacidad de una máquina o sistema para imitar funciones cognitivas humanas como el aprendizaje, la percepción, la resolución de problemas y la toma de decisiones (Russell & Norvig, 2021). En el contexto actual, la IA ha evolucionado de manera exponencial gracias al desarrollo de técnicas como el aprendizaje automático (*machine learning*) y el aprendizaje profundo (*deep learning*), que permiten a los sistemas aprender de grandes volúmenes de datos y mejorar su desempeño sin ser programados explícitamente.

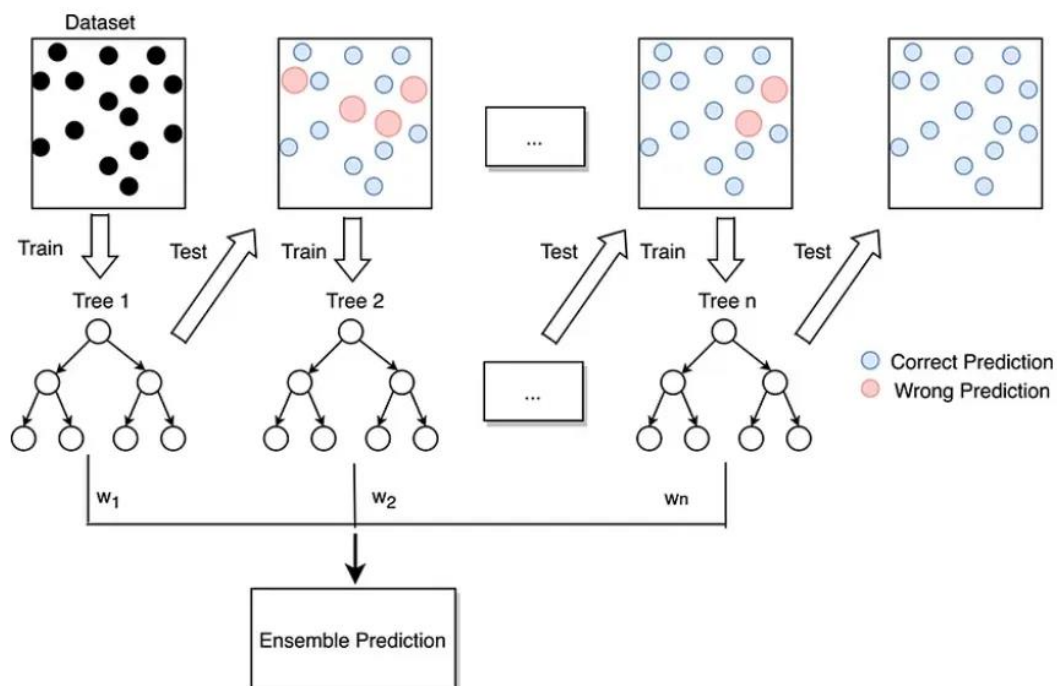
El crecimiento exponencial que ha tenido esta tecnología refuerza su relevancia estratégica: se estima que en 2026 el mercado global de la IA alcanzará un valor de 300.000 millones de dólares, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 37,7 % (Statista, 2024). Además, su adopción por parte del sector empresarial se ha duplicado en los últimos cinco años, y más del 50 % de las organizaciones ya la consideran una prioridad estratégica en sus planes de transformación (McKinsey, 2024). Estos datos reflejan no solo el avance tecnológico, sino también la creciente confianza en la IA como solución viable y rentable frente a los retos de sostenibilidad.

Los datos sintéticos son datos generados artificialmente que imitan datos del mundo real. Se crean mediante algoritmos de computación y simulaciones basadas en tecnologías de IA generativa. Un conjunto de datos sintéticos tiene las mismas propiedades matemáticas que los datos reales en los que se basa, pero no contiene la

misma información. Grandes organizaciones tecnológicas como Amazon Web Services (AWS), Google, IBM y Microsoft utilizan datos sintéticos en múltiples áreas, incluyendo la investigación, pruebas de sistemas, desarrollo de nuevos productos y entrenamiento de modelos de machine learning, especialmente cuando los datos reales son limitados, sensibles o costosos de obtener (AWS, 2024; IBM, 2023; Microsoft, 2023). Su uso permite abordar problemas como la escasez de datos históricos, la privacidad y la calidad de los datos disponibles, además de reducir significativamente los costes y el tiempo invertido en su obtención (Shaip, 2023).

La Figura 2 muestra el funcionamiento de un modelo de ensamblado tipo Gradient Boosting, en el que múltiples árboles de decisión son entrenados secuencialmente sobre subconjuntos modificados del conjunto de datos original. Cada árbol corrige los errores del anterior, y sus predicciones se combinan de forma ponderada para generar una predicción final más precisa. Las instancias correctamente clasificadas se indican en azul y las erróneas en rojo, ilustrando cómo el modelo aprende progresivamente a reducir los errores de clasificación (Medium, 2024).

Figura 2. Ensamblado tipo Gradient Boosting

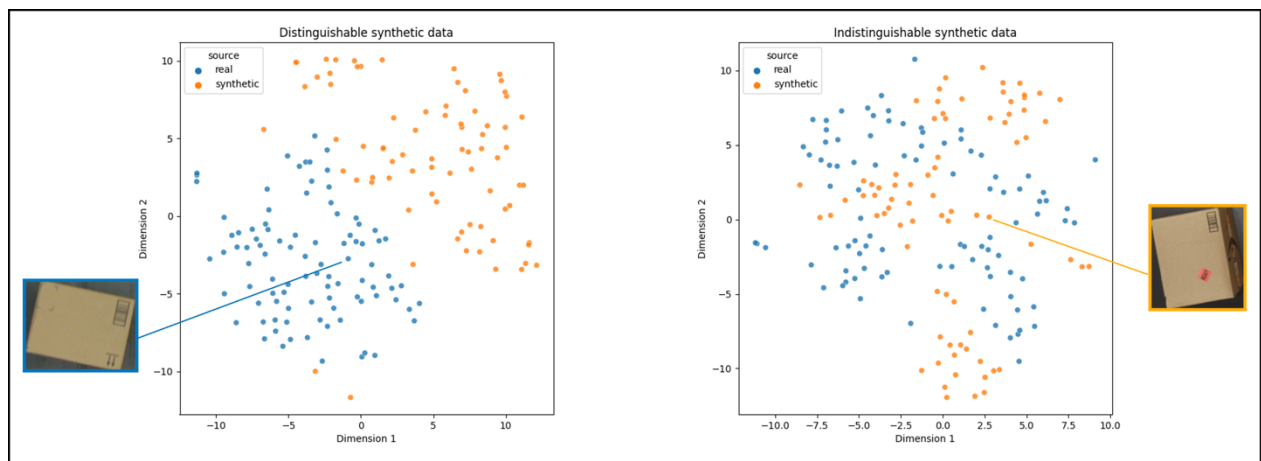


Fuente: Medium, 2024

En este contexto, los datos sintéticos se convierten en un recurso clave para entrenar, validar y experimentar con modelos predictivos sin necesidad de depender exclusivamente de fuentes reales (Goncalves et al., 2020). Estos modelos predictivos, por su parte, son algoritmos que permiten anticipar comportamientos o resultados futuros en base a tendencias y relaciones observadas en los datos. En el marco del turismo circular, su utilidad es evidente: desde prever la generación de residuos en función de la afluencia de visitantes, hasta simular el efecto de distintas políticas de reutilización o eficiencia energética sobre la rentabilidad de un establecimiento.

La Figura 3 presenta dos modalidades de datos sintéticos, aquellos que son distinguibles de los datos reales y aquellos que no lo son. (AWS, 2024)

Figura 3. Comparación de datos sintéticos



Fuente: AWS, 2023

En conclusión, el objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es explorar y proponer una metodología estructurada y replicable que permita anticipar el rendimiento de innovaciones circulares en el sector turístico mediante el uso de IA (modelo predictivo) y la generación de datos sintéticos. A partir de casos que expertos en la materia puedan analizar y valorar con una serie de calificaciones, se podrá corregir el trabajo del modelo para que aprenda y mejore con el paso del tiempo, ajustando sus errores y desviaciones y ajustando sus predicciones. A través del análisis de casos

reales y la revisión de herramientas tecnológicas actuales, se pretende ofrecer una visión estructurada sobre cómo evaluar, de forma preventiva y basada en datos simulados, el impacto económico, ambiental y social de este tipo de innovaciones, para lograr una valoración numérica final que sirva para compararlas entre sí y así poder tomar decisiones con más información.

El uso de datos sintéticos y modelos predictivos no se plantea como un desarrollo técnico completo, sino como un marco conceptual y metodológico que demuestra su aplicabilidad y utilidad ante la escasez de datos reales y las barreras que enfrentan las empresas del sector turístico en su transición hacia modelos circulares.

Por todo lo visto anteriormente en este TFG se plantea la siguiente pregunta que se responderá a lo largo de este estudio: ¿Es posible diseñar una metodología basada en el uso de datos sintéticos e IA que permita predecir, evaluar y comparar el rendimiento económico, ambiental y social de las innovaciones circulares en el turismo, y que además pueda mejorar su capacidad de análisis mediante la validación de expertos?

Para dar respuesta a los objetivos planteados y a la pregunta principal, el trabajo se estructura en siete grandes apartados, el primero es la introducción. En el segundo apartado se presentan los antecedentes teóricos fundamentales, donde se abordan los conceptos de economía circular, su aplicación en el sector turístico y la relación entre esta y los modelos predictivos basados en inteligencia artificial.

En el tercer apartado describe la metodología empleada, que combina el análisis cualitativo de tres casos reales con una fase cuantitativa basada en la generación de datos sintéticos y la aplicación de modelos de IA. Se expone una propuesta metodológica detallada para la creación de datos sintéticos con el objetivo de alimentar un modelo de IA capaz de predecir el rendimiento de innovaciones circulares, es importante destacar que el presente trabajo no desarrolla tecnología propia ni implementa técnicamente el modelo propuesto. Tampoco se lleva a cabo una validación empírica de las herramientas planteadas. El enfoque se limita a formular un marco teórico-práctico que describe cómo debería llevarse a cabo este proceso,

recomendando las herramientas más adecuadas según el criterio del autor del TFG, en función de su análisis de capacidades y aplicaciones actuales.

El cuarto bloque es el de análisis y resultados, se exponen los casos seleccionados (Artem, Lopesan y Accor), se realiza una evaluación comparativa de sus iniciativas circulares y se justifica la construcción de un sistema de puntuación propio para evaluar su impacto. Con este análisis se pone de manifiesto una de las principales limitaciones a la hora de evaluar innovaciones en economía circular: la falta de datos reales suficientes, homogéneos y contrastables. A pesar del compromiso creciente de muchas empresas con la sostenibilidad, los informes disponibles suelen presentar información fragmentada, poco estandarizada o centrada en aspectos cualitativos, lo que dificulta una evaluación objetiva y comparable entre iniciativas. Aunque en una primera etapa puedan parecer menos precisos debido a que se generan a partir de casos reales de los que se disponen datos limitados, estos datos permiten entrenar modelos de inteligencia artificial, por tanto, no es únicamente la "calidad bruta" del dato sintético, sino el criterio experto que se aplica al evaluar su coherencia, validez y utilidad predictiva.

Finalmente, el trabajo se cierra con una discusión crítica de los resultados, apartado 5, una reflexión sobre las limitaciones y conclusiones encontradas, apartado 6, y un último apartado donde se encontrarán las principales referencias bibliográficas.

2. Antecedentes

2.1. Economía Circular

Como se explicó al inicio, la EC ha ganado importancia en los últimos años como una de las respuestas al modelo económico lineal tradicional de "comprar-usar-tirar", que ha demostrado ser insostenible en comparación con los nuevos modelos, debido al agotamiento de recursos naturales, el cambio climático y la generación de residuos. Este enfoque se basa en la maximización del valor de los recursos mediante su reutilización, reciclaje y regeneración, contribuyendo de esta manera a un sistema económico más sostenible y eficiente. La EC es un marco de soluciones sistémicas que hace frente a desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación. (Ellen MacArthur Foundation, s.f.). En esta vía, el Parlamento Europeo enfoca la EC como un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta manera, el ciclo de vida de los productos se extiende y perduran más (Parlamento Europeo, 2023). Esto es importante, pues en la práctica implica reducir los residuos al mínimo. Cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se mantienen dentro de la economía, siempre y cuando sea posible gracias al reciclaje. Estos productos pueden ser utilizados una y otra vez creando de esta manera un mayor valor (Parlamento Europeo, 2023).

En la Figura 4, se muestra una rueda en la que se explica el proceso que sigue una materia prima desde que su inicio hasta que esta ha sido usada y reciclada, y como ese proceso en la EC no termina, sino que vuelve a comenzar de nuevo (Servicio de Investigación del Parlamento Europeo, 2023).

Figura 4. Infografía sobre el modelo de EC



Fuente: Servicio de Investigación del Parlamento Europeo, 2023

La EC se fundamenta en la idea de cerrar ciclos de recursos y mantener su utilidad en la economía el mayor tiempo posible. Según Geissdoerfer et al. (2017), la EC se posiciona como un paradigma alternativo en el cual se integran principios de sostenibilidad y resiliencia, orientados a minimizar el impacto ambiental y maximizar los beneficios económicos y sociales.

Como se ha mencionado antes, la Fundación Ellen MacArthur (2013), una de las principales impulsoras de la EC, describe este modelo como un sistema industrial restaurativo y regenerativo por diseño. Los principios básicos incluyen:

- **Regeneración de recursos naturales.**

Es el proceso por el cual los ecosistemas que se encuentran más deteriorados o sobreexplotados se recuperan para garantizar la existencia futura de los mismos.

En la EC, se entiende como regeneración de los recursos a las siguientes variantes:

1. Materiales actualizables y biodegradables en lugar de los tradicionales recursos no renovables.
2. Prácticas agrícolas regenerativas que mejoran la salud del suelo y la biodiversidad.
3. La reforestación y restauración de los ecosistemas dañados por los efectos perjudiciales del ser humano.
4. El uso responsable del agua y la disminución de la contaminación para proteger los ríos y los océanos.

- **Extensión del ciclo de vida de productos y materiales**

Hace referencia a estrategias que extienden el uso de productos y materiales antes de convertirse en residuos. El ciclo de vida se puede extender a través de varias vías:

1. Diseño modular y reparable que permite la actualización o la reparación de productos en lugar del abandono.
2. Reutilización y reacondicionamiento, que permite dar una segunda vida a objetos usados.
3. Modelos de negocio orientados a la economía del compartir (por ejemplo: alquiler en lugar de compra).

- **Promoción de estrategias como el ecodiseño, el reciclaje y la reutilización.**

Consiste en fomentar prácticas que permitan alargar la vida útil de los productos, reducir la generación de residuos y minimizar el impacto ambiental desde las fases iniciales del ciclo de vida. Estas estrategias buscan repensar la forma en que se diseñan, consumen y desechan los bienes, priorizando la eficiencia de recursos y la creación de sistemas productivos más circulares y sostenibles a largo plazo.

Existen distintos tipos de prácticas circulares, que pueden ser jerarquizadas en términos de diferentes "Rs", variando el número de estas actividades entre los diferentes autores.

Por ejemplo, Zink (2017), propone tres acciones:

1. R0, *Reduce* (Reducir): Disminuir el consumo de recursos naturales y materiales durante el proceso de producción y el ciclo de vida del producto.
2. R1, *Reuse* (Reutilizar): Dar un nuevo uso a productos que pese a haber sido utilizados se mantienen en condiciones óptimas para continuar cumpliendo su función original con un nuevo consumidor.
3. R2, *Recycle* (Reciclar): Procesar los materiales de un producto con el fin de obtener nuevos materiales de calidad.

Otros autores como Reike, D. et al. (2018) proponen hasta 10 Rs. En el modelo desarrollado por Potting, J. et al. (2017) podemos distinguir entre las siguientes Rs:

- R0. *Refuse* (Rehusar): Hacer de un producto algo redundante que termine por abandonar su función u ofreciendo la misma funcionalidad mediante un producto radicalmente diferente.
- R1. *Rethink* (Repensar): Aumentar la funcionalidad de los productos, aumentando el número de usuarios que los emplean, o el número de funciones de este.
- R2. *Reduce* (Reducir): Disminuir el consumo de recursos naturales y materiales durante el proceso de producción y el ciclo de vida del producto.
- R3. *Reuse* (Reutilizar): Dar un nuevo uso a productos que han sido utilizados, pero se mantienen en condiciones óptimas para continuar cumpliendo su función original con un nuevo consumidor.
- R4. *Repair* (Reparar): Solucionar problemas de un producto roto o defectuoso con el fin de prolongar su vida útil manteniendo las mismas funciones que tenía en su origen.
- R5. *Refurbish* (Restaurar): Reparar y acondicionar un producto antiguo con el objetivo de actualizarlo y convertirlo en algo útil.
- R6. *Remanufacture* (Refabricar): Dar una nueva vida a las partes de un producto desechado en uno nuevo con las mismas funciones.
- R7. *Repurpose* (Replanificar): Dar una nueva vida a las partes de un producto desechado en uno nuevo con funciones diferentes.

- R8. *Recycle* (Reciclar): Procesar los materiales de un producto con el fin de obtener nuevos materiales de calidad.
- R9. *Recover* (Recuperar): Incineración de materiales para la recuperación de energía. (Potting J, 2017)

El marco sugerido por Potting permite clasificar diferentes acciones que corresponden a la EC, acciones que dependen en gran medida de las eco-innovaciones. Las cuales se definen como "el proceso que se utiliza para la creación de nuevos productos, de nuevos procesos o de nuevos servicios que añadan valor a los consumidores y a las empresas y que a la vez reduzcan de forma drástica el impacto que los mismos producen" (Fussler et al., 1996).

Carrillo-Hermosilla et al. (2010) proponen un marco de análisis que permite clasificar las eco-innovaciones a partir de cuatro dimensiones fundamentales: diseño, usuario, producto o servicio y gobernanza. A través de un análisis de casos, los autores muestran que las eco-innovaciones son económica, industrial y socialmente diversas y que los efectos de estas innovaciones dependen de la combinación concreta de elementos de cada dimensión. El estudio señala que la dimensión del diseño es clave en los efectos ambientales directos, pero que la implicación de los actores y todas las dimensiones son fundamentales para que éstas puedan tener un efecto positivo sobre la sostenibilidad. De acuerdo con esta visión, se generan capacidades para entender mejor cómo las eco-innovaciones pueden transformar la forma en que se hacen las cosas en los sistemas de producción y de servicios, de una forma que pueda llevarlas a generar cambios sistémicos (Carrillo-Hermosilla et al., 2010).

Entre las metas a las que nos lleva la implementación de estas estrategias y de un sistema económico circular, se encuentra la consecución del desarrollo sostenible, es decir, un estado de equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental. No obstante, avanzar en la implementación de un sistema económico circular responde al reconocimiento y a la reducción de las barreras internas y externas que impiden su adopción en el sector.

A nivel europeo, la Comisión Europea ha trabajado en un conjunto de normativas con el objetivo de afianzar la EC, partiendo de la adopción en diciembre de 2015 del primer Plan de Acción para la EC, en el cual se agrupan 54 medidas en torno al cierre del ciclo de vida de los productos (European Commission, 2015). Este fue el punto de partida de una profunda transformación de la forma de producir, que se vio reforzada en diciembre de 2019 por la adopción del Pacto Verde Europeo, que presentó la EC como una piedra angular para lograr la neutralidad del clima (European Commission, 2019). En marzo de 2020 se presentó un nuevo Plan de Acción para la EC sobre el diseño sostenible de productos y el empoderamiento del consumidor (European Commission, 2020). Desde entonces, se han impulsado numerosos avances normativos, como la propuesta de regulación sobre baterías sostenibles (diciembre 2020), la creación de la Alianza Global para la EC y la Eficiencia de los Recursos (GACERE) en febrero de 2021, o el paquete legislativo de marzo de 2022 que incluye iniciativas sobre productos sostenibles, textiles, construcción y el empoderamiento de consumidores (European Commission, 2021a; 2022a). En el año 2023 surgieron nuevas propuestas, como el derecho a la reparación y las orientaciones en contra del *greenwashing* (marzo 2023), y se revisó el marco de seguimiento que tenía en ese momento la EC (mayo 2023) para mejorar la transparencia y la medición del progreso (European Commission, 2023a; 2023b). Esta evolución es un indicativo de que existe un avance, progreso y maduración, lo que está generando la incorporación de la EC en el centro de las políticas europeas, destacando como un elemento fundamental para facilitar la transición hacia un modelo económico más resiliente, competitivo y sostenible.

Una normativa muy importante es la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos (Directiva Marco de Residuos), la cual establece el marco legal para la gestión de los residuos en la Unión Europea. Su principal objetivo es reducir y prevenir la generación de residuos, anticipándose al daño que se genera al medio ambiente y/o el daño a la salud humana (European Parliament and Council, 2008).

Analizando la situación en España, se observa que existen una serie de legislaciones a tener en cuenta en este TFG.

La EC en España ha tenido un auge creciente en los últimos años al igual que en el resto de lugares, estableciéndose como una cuestión de primer orden en la transición hacia un modelo de desarrollo sostenible. En junio de 2020, el Consejo de Ministros aprobó la estrategia Española de Economía Circular (EEEC), “España Circular 2030”, que tiene como principal objetivo establecer una hoja de ruta a largo plazo para promover un nuevo modelo de producción y consumo. Esta estrategia tiene como objetivo conservar el valor de productos, materiales y recursos en la economía por el mayor tiempo posible, prevenir la producción de residuos y hacer un mayor uso de los residuos (MITECO, 2020).

La EEEEC se encuentra en perfecta consonancia con los planes de acción de la EC que le da la Unión Europea, así como con el Pacto Verde Europeo, con lo que se trata de contribuir a reformar la economía española en un sentido más sostenible, competitivo y bajo en carbonos. Mediante los planes de acción trienales diseñados para el despliegue de las medidas concretas, el Primer Plan de Acción de EC (I PAEC) 2021-2023 incorpora dentro de su marco 111 medidas concretas agrupadas a partir de cinco ejes de actuación: producción, consumo, gestión de residuos, las materias primas secundarias, y la reutilización del agua. A estos ejes se incorporan tres líneas transversales: sensibilización y participación, investigación e innovación y empleo y formación (MITECO, 2021).

El I PAEC también incluye algunas iniciativas que parecen ser especialmente extensas. Un ejemplo de lo anterior es la constitución del Consejo de la Economía Circular, un cuerpo consultivo que hace posible la participación de distintos agentes, tanto sociales como económicos y científicos al objeto de que el seguimiento y la aplicación de la estrategia sea posible (MITECO, 2021). Asimismo, en septiembre de 2024 el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico abrió el proceso participativo correspondiente al diseño del II Plan de Acción de EC 2024-2026, para fortalecer el compromiso institucional y, adaptando políticas a nuevas problemáticas del entorno económico y ambiental (MITECO, 2024).

España ha ido habilitando una serie de normativas que van en consonancia con la estrategia europea. La más importante corresponde a la Ley 7/2022, de 8 de abril, de

residuos y suelos contaminados para una EC, que se erige como el nuevo texto que regula los residuos en España y que establece medidas para la prevención de la generación de residuos, así como para su reutilización y su reciclaje (BOE, 2022).

Por otro lado, en diciembre de 2022, el gobierno español aprobó el Real Decreto 1055/2022, de envases y residuos de envases, que regula la gestión de los envases en su conjunto con la finalidad de reducir la producción de residuos y fomentar la reutilización y el reciclaje (BOE, 2022).

Por otro lado, el Plan de acción de las materias primas minerales 2025-2029, impulsado por el Ministerio para la Transición Ecológica, tiene como fin aumentar la disponibilidad de materiales estratégicos para España, lo que significa la apertura de nuevas minas y el desarrollo del reciclaje como una de las actividades dentro de la EC (El País, 2025).

2.2. Innovaciones Circulares en el Sector del Turismo

La EC se ha convertido en una pieza fundamental para que el turismo crezca con un enfoque más sostenible y la industria dé un salto hacia el futuro tal y como ha ido pasando en muchos otros aspectos. Según Ghisellini et al., (2016), el uso de ideas circulares en el sector turístico genera ciertas mejoras como la optimización de recursos, la disminución de desechos y la restauración de los ecosistemas locales. Estas técnicas permiten incrementar las ganancias económicas y reducir los efectos ecológicos del turismo.

Los últimos estudios han remarcado que la circularidad en el sector del turismo puede ser liderada por innovaciones que integren tecnologías digitales y modelos de negocio disruptivos (Bocken et al., 2016).

El turismo es una pieza fundamental en el crecimiento económico, y para muchos países el más importante de todos. Según la Organización Mundial del Turismo, en el año 2022 la contribución económica del sector de viajes y turismo ascendió aproximadamente a 7,4 billones de dólares, lo que demuestra el impacto que tiene en la economía global (UNWTO, 2023). El Fondo Monetario Internacional explica que los

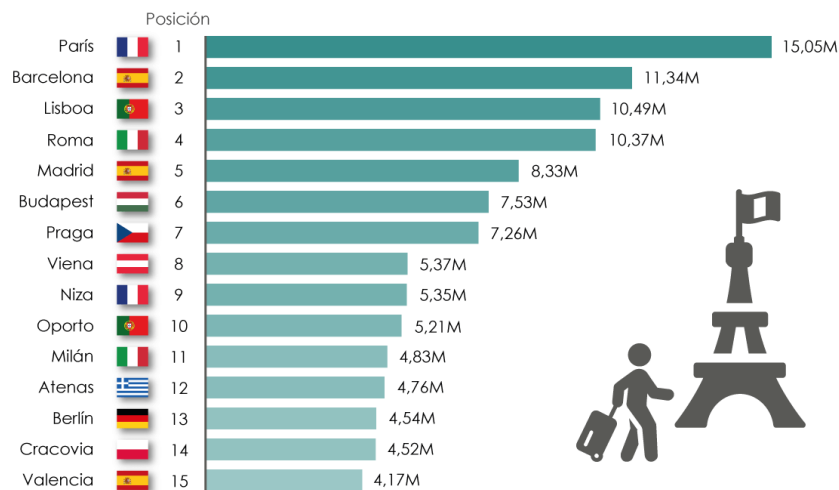
países con sectores turísticos fuertes y potentes tienden a mostrar mayor resiliencia económica y niveles sólidos de actividad (UNWTO, 2023; Statista, 2024).

En la Figura 5 se observa el ranking de las ciudades europeas más visitadas en 2019 según el número de noches reservadas a través de plataformas digitales como Airbnb, Booking, Expedia y TripAdvisor, destacando París, Barcelona y Lisboa como los principales destinos urbanos (Eurostat, 2021).

Figura 5. Infografía sobre las ciudades más visitadas de Europa

EuroAdvisor: las ciudades más visitadas

Noches reservadas a través de Airbnb, Booking, Expedia y TripAdvisor (2019)



Cartografía:
Álvaro Merino (2021)
Fuente:
Eurostat (2021)



Fuente: Eurostat, 2021

Como se explicaba anteriormente, el turismo es crucial para cualquier país, y es que en Europa representa uno de los pilares fundamentales de la economía, contribuyendo con aproximadamente el 10% del Producto Interno Bruto, generando millones de empleos por todo el continente (Parlamento Europeo, 2024). En 2024, el sector alcanzó cifras récord con un gasto turístico estimado de 719.700 millones de euros, impulsado principalmente por la recuperación en Europa Occidental, que concentró el 74% del

total (Nexotur, 2024). Las importaciones internacionales se incrementaron en un 96% en comparación con los niveles previos a la pandemia, corroborando la capacidad de resistencia y vitalidad del sector (OMT, 2024).

Francia y España destacan como los destinos más importantes en la Unión Europea. Francia atrajo a más de 100 millones de turistas internacionales, generando ingresos por 71.000 millones de euros (Campus France, 2024). España, por su parte, cerró 2024 con 93,8 millones de visitantes y un gasto turístico récord de más de 126.000 millones de euros (MINTUR, 2025). Esta evolución pone de manifiesto el papel del turismo como motor de desarrollo económico, pero también plantea retos relacionados con la sostenibilidad y el equilibrio territorial.

No todo es positivo: el crecimiento del turismo ha creado tensiones en las infraestructuras locales, aumentando el coste de vida y el deterioro ambiental en varias zonas. Como respuesta, ciertas regiones han implementado acciones para reducir el efecto perjudicial del turismo. Palma de Mallorca ha limitado la llegada de cruceros a un máximo de tres diarios (Cadena SER, 2025), mientras que en Canarias han aparecido movimientos sociales que exigen una transformación del modelo turístico para dar prioridad a la calidad de vida de los habitantes en lugar de la aglomeración (Cadena SER, 2025).

Por todo ello se hace indispensable avanzar hacia modelos turísticos más sostenibles, inclusivos y resilientes, alineados con los principios de la EC y la innovación social. Esta transición no solo debe responder a la necesidad medioambiental, sino también a una oportunidad estratégica para fortalecer la competitividad del sector en el largo plazo.

Desde el punto de vista ambiental, el turismo intensivo contribuye significativamente a las emisiones de CO₂, la contaminación de recursos naturales y la sobreexplotación de ecosistemas sensibles (OMT, 2024). Además, la generación masiva de residuos, el consumo desproporcionado de agua y energía, y la pérdida de biodiversidad son externalidades que amenazan la resiliencia de los destinos (European Environment Agency, 2023). A ello se suma la “turistificación” de la economía, que en muchos casos genera una excesiva dependencia de este sector, reduciendo la diversificación

productiva y aumentando la vulnerabilidad ante crisis externas como la pandemia de COVID-19 (UNWTO, 2022).

En el plano sociocultural, el modelo turístico dominante tiende a mercantilizar la cultura local, convirtiendo tradiciones e identidades en productos para el consumo masivo, lo que debilita el sentido de pertenencia de las comunidades receptoras (Cadena SER, 2025b). Ante este escenario, es urgente repensar el turismo desde una lógica más circular, sostenible e inclusiva, donde se priorice la calidad sobre la cantidad y se promueva un equilibrio entre visitantes, residentes y entorno (Buhalis & Sinarta, 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

El turismo masivo puede provocar un aumento descontrolado del costo de vida, especialmente en ciudades donde la oferta de vivienda se destina cada vez más al alquiler turístico en detrimento de los residentes. En Barcelona, por ejemplo, barrios como el Gótico y Gràcia han experimentado un fuerte incremento en los precios de los alquileres, desplazando a los residentes locales debido a la proliferación de alojamientos turísticos y el fenómeno de la gentrificación (Cadena SER, 2025).

El turismo también puede generar un impacto negativo en las culturas locales, reduciendo tradiciones y costumbres a meros espectáculos diseñados para el entretenimiento de los turistas. Un claro ejemplo de esta “exotización” cultural es la venta de frasquitos de arena de las playas de Tenerife, lo que ha sido criticado por convertir la identidad local en un simple souvenir comercializado para los visitantes (Cadena SER, 2025).

El “sobreturismo” se refiere a la masificación extrema de turistas en un destino, lo que puede generar conflictos con los residentes locales y afectar la experiencia de los propios visitantes. Un caso emblemático es el de Hanói, Vietnam, donde el gobierno ha prohibido a las agencias de viaje organizar visitas guiadas en la famosa calle del tren, con el objetivo de evitar accidentes y controlar la afluencia masiva de turistas (Cadena SER, 2025).

Aunque muchos hoteles quieren avanzar hacia un modelo más sostenible, se encuentran con varios obstáculos que lo dificultan. Uno de los principales es la falta de datos claros y fiables sobre su consumo o generación de residuos, lo que impide saber por dónde empezar (EEA, 2021). A esto se suma la falta de recursos económicos, especialmente en los hoteles más pequeños, que no pueden permitirse grandes inversiones iniciales (Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016). Además, muchos equipos no cuentan con la formación necesaria para aplicar estrategias circulares, y suele haber resistencia al cambio, tanto dentro del propio hotel como entre los clientes (del Río, et al. 2019). Por último, la falta de apoyo institucional y de incentivos concretos hace que muchas buenas ideas no lleguen a ponerse en práctica (del Río, et al. 2021).

La investigación en este campo ha identificado diversas estrategias y casos prácticos que ejemplifican cómo la EC puede transformar el sector. Diversas iniciativas se han destacado por incorporar prácticas de EC en el sector servicios en los últimos años. A continuación, se presentan tres innovaciones sostenibles a modo de ejemplo, en las cuales se apoyará el posterior desarrollo de este trabajo:

La cadena menorquina Artiem Hotels ha sido pionera en integrar la EC en su gestión hotelera. Ha obtenido la certificación de "Estrategia de Economía Circular" por AENOR, destacando iniciativas como la reutilización de microplásticos y jaboneras para crear objetos artesanales en colaboración con talleres locales (AENOR, 2022). Además, Artiem es la primera cadena hotelera europea certificada como B Corp, consolidando su compromiso con la sostenibilidad (Foodies on Menorca, 2025).

Lopesan Hotel Group ha implementado el programa "Lopesan for Good", centrado en la sostenibilidad y la EC. Entre sus acciones destacan la inversión en energías renovables, la reducción del uso de plásticos y la promoción de productos locales. Estas iniciativas han sido presentadas en ferias internacionales como FITUR e ITB, reforzando su estrategia operativa y compromiso medioambiental (Cadena SER, 2025a; Cadena SER, 2025b).

Por su parte, el grupo hotelero Accor ha desarrollado el programa "Planet 21", que promueve la EC mediante la reducción de residuos, el reciclaje y la reutilización de

materiales en sus establecimientos. Asimismo, han establecido alianzas con proveedores locales para fomentar el consumo responsable y minimizar la huella ecológica de sus operaciones, posicionándose como referentes en turismo sostenible en Europa (Accor, 2025).

Diferentes estudios indican que la implementación de innovaciones circulares en el turismo depende de varios factores:

- Colaboración público-privada:

Según Kirchherr, Reike y Hekkert (2017), el éxito de las estrategias circulares en el turismo requiere un marco regulatorio sólido, incentivos económicos y la colaboración entre actores del sector público y privado.

- Educación y sensibilización:

Los turistas y las comunidades locales deben estar informados sobre los beneficios de las prácticas circulares para fomentar su adopción (Ghisellini et al., 2016).

- Las normativas y regulaciones gubernamentales pueden impulsar o frenar el éxito de las innovaciones circulares

Las normativas y regulaciones pueden facilitar o frenar el éxito de las innovaciones circulares. Cuando existen leyes que incentivan la EC, las empresas tienen más facilidad para implementar modelos sostenibles.

- Viabilidad Económica y Costos de Implementación

El alto costo inicial es una barrera importante para muchas innovaciones circulares. Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas tienen más dificultades para invertir en tecnologías de reciclaje o logística inversa, lo que limita su capacidad de adoptar modelos circulares (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

- Aceptación y Participación del Consumidor

El éxito de una innovación circular depende de la disposición de los consumidores a cambiar sus hábitos de consumo. Sin embargo, en algunos sectores

los consumidores siguen prefiriendo productos nuevos sobre reciclados, lo que limita la expansión de modelos de EC (Testa et al., 2020).

- Infraestructura y Tecnología Disponible

La disponibilidad de infraestructura adecuada y tecnología eficiente facilita la implementación de innovaciones circulares. En cambio, en regiones con sistemas de reciclaje deficientes o sin acceso a tecnología para la gestión de residuos, la adopción de modelos circulares es más difícil (Bocken et al., 2016).

El análisis y la predicción del impacto de innovaciones circulares en el turismo requieren conjuntos de datos amplios y confiables, los cuales no siempre están disponibles. En este contexto, los datos sintéticos pueden desempeñar un papel clave al:

- Generar escenarios hipotéticos sobre el impacto de prácticas circulares en destinos turísticos.
- Modelar el comportamiento de turistas y su aceptación de nuevas estrategias sostenibles.
- Simular la eficiencia de sistemas de reciclaje, energía renovable y transporte compartido en diferentes contextos turísticos.

Zhao et al. (2019) destacan cómo los datos sintéticos pueden superar las limitaciones de los datos reales, facilitando la toma de decisiones informadas en sectores como el turismo, donde los escenarios son complejos y dinámicos.

Por otro lado, los avances tecnológicos y la digitalización abren nuevas oportunidades para superar estas barreras. Por ejemplo, el uso de datos sintéticos y tecnologías de simulación permite modelar y predecir los resultados de estrategias circulares en diversos contextos, facilitando su adopción y optimización (Siddik et al., 2019).

2.3. Modelos Predictivos y Economía Circular

Los modelos predictivos son herramientas muy potentes a la hora de poder anticipar resultados y optimizar decisiones. Su aplicación permite evaluar el impacto de estrategias sostenibles antes de su implementación, identificando las mejores prácticas para maximizar beneficios económicos, sociales y ambientales.

Los modelos predictivos son sistemas matemáticos o algorítmicos diseñados para predecir resultados futuros basándose en datos históricos y patrones observados. Según James et al. (2013), estas técnicas se construyen utilizando enfoques estadísticos y de aprendizaje automático, como, por ejemplo:

- Regresión lineal y logística, útiles para predecir valores continuos o probabilidades discretas.
- Árboles de decisión y *Random Forest*, ideales para analizar múltiples variables y relaciones no lineales.
- Redes neuronales artificiales (ANN), eficientes para procesar grandes cantidades de datos complejos.

Una de las opciones más desarrolladas y usadas para estos modelos es el *Gradient Boosting Machines* (GBM), una técnica de aprendizaje automático supervisado que permite construir modelos predictivos muy precisos que combinan múltiples árboles de decisión simples. Su funcionamiento se basa en un enfoque secuencial haciendo que cada nuevo árbol se entrene con el anterior para corregir los errores cometidos, utilizando el descenso del gradiente como estrategia de optimización. De esta forma, el modelo final no es un único árbol complejo, sino un conjunto de árboles débiles que, al sumarse, generan una predicción robusta (Friedman, 2001). GBM es especialmente eficaz para capturar relaciones no lineales entre variables, tolerar datos ruidosos y adaptarse a conjuntos de datos generados sintéticamente, lo que hace que encaje perfectamente con nuestro estudio, ya que uno de los mayores desafíos son los datos y cómo estos se obtienen. En el contexto de este TFG, su capacidad para predecir resultados a partir de múltiples variables económicas, sociales y ambientales lo hace una herramienta ideal para predecir el rendimiento de innovaciones circulares simuladas, sin depender de información real sensible o incompleta.

El avance del aprendizaje automático y el acceso a grandes volúmenes de datos han mejorado significativamente la precisión y versatilidad de estos modelos (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009). Dependiendo de la complejidad del caso de estudio, variarán las técnicas utilizadas siempre de manera autónoma, el software estará dotado de la inteligencia suficiente para saber cuál es la mejor de todas las opciones, esto hará que aumente la velocidad y calidad del resultado.

El desarrollo de modelos de predicción en el contexto de la EC y el turismo sostenible requiere un plan estructurado de pasos técnicos y metodológicos que permitan transformar datos en una metodología sencilla que permita tomar decisiones de calidad. El primer paso consiste en la definición clara del problema, identificando qué variable se desea predecir (por ejemplo, generación de residuos por cliente, consumo energético o nivel de ocupación) y con qué fin operativo o estratégico (Domingos, 2012).

Posteriormente, se realiza la recopilación de datos, que puede incluir tanto fuentes reales como datos sintéticos generados mediante herramientas como Gretel AI, especialmente cuando los datos reales son insuficientes, sensibles o inexistentes (Zhao, Song & Liu, 2019; Goncalves et al., 2020). Una vez reunidos, los datos deben ser preprocesados, corrigiendo errores, normalizando escalas y transformando variables para facilitar su interpretación por el modelo (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009).

El modelo GBM se entrena ajustando sus hiperparámetros (como la profundidad de los árboles o la tasa de aprendizaje) para minimizar el error en las predicciones. Su rendimiento se evalúa mediante métricas como el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) o el coeficiente de determinación (R^2), y se valida con técnicas como la validación cruzada (Hastie et al., 2009). Una vez ajustado, puede ser aplicado a nuevos escenarios simulados, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

La mayor parte del tiempo y recursos en la creación de un modelo de IA se concentra en las fases iniciales del proceso, especialmente en la recopilación, limpieza y preparación de los datos. Diversos estudios coinciden en que aproximadamente entre

el 60 % y el 80 % del esfuerzo total de un proyecto de ciencia de datos se destina a estas tareas (Domingos, 2012; Russell & Norvig, 2021).

En el contexto de la EC, los modelos predictivos son esenciales para evaluar el impacto de estrategias sostenibles antes de implementarlas. Según Kirchherr et al. (2017), los modelos predictivos pueden:

- Estimar la reducción de residuos y el ahorro de recursos en procesos circulares.
- Evaluar la viabilidad económica de nuevas tecnologías sostenibles.
- Analizar el comportamiento del consumidor frente a modelos de negocio circulares, como el uso compartido o el reciclaje.

Los modelos predictivos de IA desempeñan un papel fundamental en la EC, ya que facilitan la optimización de recursos, la reducción de residuos y la eficiencia en procesos industriales. A continuación, se detallan algunas de las razones por las cuales estos modelos son esenciales en este ámbito:

- La IA permite predecir la generación de residuos y optimizar su recolección y tratamiento. En España, municipios como Maracena y Baza han implementado IA para mejorar el reciclaje de vidrio, analizando datos para identificar áreas prioritarias y sensibilizar a la población sobre la importancia del reciclaje (Cadena SER, 2024).
- La IA ayuda en la creación de productos más sostenibles, facilitando el diseño de materiales reciclables y aumentando su durabilidad. Al analizar datos y patrones, es posible fabricar productos que generen menos residuos y aprovechen mejor los recursos (CSR Consulting, 2022).
- La integración de IA en procesos industriales mejora la eficiencia operativa. Un ejemplo es Global Omnium, que ha desarrollado modelos matemáticos y de aprendizaje automático con más del 95% de precisión para optimizar la producción de energía renovable y la gestión de residuos en estaciones depuradoras de aguas residuales (Cadena SER, 2024).

- Los modelos predictivos permiten prever la demanda de materiales y productos, facilitando una planificación eficiente y reduciendo el desperdicio. Esto es especialmente relevante en sectores como la construcción, donde la gestión de materiales es clave para la sostenibilidad (Revista Byte, 2024).

Aplicaciones Específicas

- Gestión de residuos y reciclaje:

Los modelos predictivos ayudan a optimizar la recolección y clasificación de residuos, como destacan Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2016). Por ejemplo, sistemas basados en aprendizaje automático pueden prever la cantidad y tipo de residuos generados en una comunidad, facilitando su gestión.

- Optimización de recursos:

En la fabricación, los modelos predictivos pueden anticipar el desgaste de materiales y componentes, permitiendo su reparación o reciclaje antes de su deterioro completo (Bocken et al., 2016).

- Evaluación del impacto ambiental:

Los modelos predictivos pueden simular escenarios de emisiones de carbono y consumo energético en cadenas de suministro circulares, ayudando a identificar oportunidades para minimizar impactos negativos (Zink & Geyer, 2017).

Se pueden apreciar algunos ejemplos y puntos relevantes en los que tendrían relevancia los modelos predictivos, aunque el abanico es mucho más amplio, solo hace falta explorarlo al máximo para poder mejorar.

Para implementar modelos predictivos en EC, se utilizan herramientas avanzadas como:

- Machine Learning Frameworks: TensorFlow, Scikit-learn y PyTorch, que facilitan el desarrollo de algoritmos personalizados.
- Simulación y Modelado: AnyLogic y MATLAB, utilizados para crear escenarios hipotéticos basados en datos reales y sintéticos.

- Técnicas específicas: Redes neuronales para predecir comportamientos complejos, regresiones para estimar impactos cuantitativos, y Random Forests para analizar variables interrelacionadas.

A pesar de su potencial, los modelos predictivos enfrentan desafíos en el contexto de la EC:

- Calidad y disponibilidad de datos: La falta de datos históricos y confiables puede limitar la precisión de los modelos.
- Complejidad de los sistemas circulares: Los flujos de materiales y recursos en un sistema circular son difíciles de modelar debido a su naturaleza dinámica y multifacética (Ghisellini et al., 2016).
- Integración tecnológica: Las empresas necesitan infraestructuras digitales robustas para implementar estos modelos de manera efectiva.

No obstante, el desarrollo de datos sintéticos permite superar muchas de estas limitaciones, proporcionando datos artificiales que replican las características de los sistemas reales, facilitando la experimentación y evaluación de estrategias circulares. Con gran velocidad, calidad y respetando siempre la privacidad.

3. Metodología

En este TFG se utiliza un enfoque metodológico mixto. Por una parte, se lleva a cabo una aproximación cualitativa y exploratoria, en la que se analizan tres casos de innovación reales, que representan enfoques diversos y relevantes de EC en el sector hotelero para crear una metodología de análisis que nos permita después puntuar otras innovaciones circulares con criterios contrastados, y como punto de partida para la generación de datos sintéticos. En segundo lugar, este trabajo presenta una aproximación de carácter experimental y cuantitativa, centrada en usar la anterior metodología para crear un modelo capaz de analizar innovaciones circulares y poder puntuarlas en base a los criterios detallados en la primera etapa, a la vez que expertos reales en el tema hacen el mismo análisis, para ser comparado y mejorar al modelo sistemáticamente con cada revisión. Para ello, el modelo usará GBM, una técnica avanzada de aprendizaje automático supervisado que se basa en la construcción secuencial de árboles de decisión con el objetivo de mejorar progresivamente el rendimiento del modelo. En cada introducción de documentos evaluados por expertos, el algoritmo corrige los errores cometidos por los modelos anteriores, ajustándose a los residuos del modelo previo para reducir el error global (Friedman, 2001). Una vez expuesta la metodología y utilizada a modo de ejemplo con los tres casos de estudio propuestos, se usará para crear una plantilla de análisis con las mismas dimensiones y variables que serán rellenadas con casos creados a partir de la generación de datos sintéticos, para su posterior valoración tanto por expertos como por el modelo predictivo basado en IA.

La primera fase del estudio, cualitativa y exploratoria, consiste en la selección y análisis de tres casos reales de innovación circular en el sector turístico europeo, con especial interés en España, seleccionados por su valor e importancia, diversidad geográfica y grado de madurez en la implementación de prácticas circulares, cada uno escogido en diversas franjas temporales para ver todas las opciones posibles. Esta fase cualitativa nos permite seleccionar las tres dimensiones diferentes que existen en una innovación circular, económica, ambiental y social, e identificar las variables críticas que determinan el éxito o fracaso de una estrategia circular, así como escoger los criterios de evaluación que serán utilizados en la segunda fase.

El método utilizado para la primera fase del estudio es el análisis intra e inter-casos (Strauss, 1987), con el objetivo de poder identificar características comunes o diferencias entre los casos seleccionados. Esto nos permitirá desarrollar una metodología sencilla para que nuestro modelo haga las primeras predicciones para luego mejorar gracias a los expertos, dicha metodología permite obtener conclusiones basadas en la observación y reflexión de situaciones reales, destacando aquellos aspectos que pueden pasar inadvertidos en estudios cuantitativos. Se estudian casos muy diferentes, pero con un denominador común, la innovación circular y el sector turístico. De esta manera, se podrán ver diferentes escenarios, momentos temporales y soluciones para cada problema y hacer más rica la metodología.

Los tres casos de innovaciones circulares en el sector del turismo seleccionados son:

- Artiem Hotels una cadena menorquina pionera en sostenibilidad hotelera que integró en el año 2022 los principios de la EC en su gestión, destacando por la reutilización de microplásticos y jaboneras para la elaboración de objetos artesanales junto a talleres locales. Ha sido reconocida con la certificación AENOR en Estrategia de EC y es la primera cadena hotelera europea certificada como B Corp, lo que refleja su compromiso con el triple impacto: ambiental, económico y social (AENOR, 2022; Foodies on Menorca, 2025).
- Lopesan Hotel Group es uno de los grupos hoteleros más relevantes en Canarias el cual desarrolló en 2024 el programa “Lopesan for Good”, orientado a la sostenibilidad y la circularidad. Entre sus acciones destacan la inversión en energías renovables, la reducción del uso de plásticos y la promoción del consumo de productos locales de kilómetro cero. Estas iniciativas han sido reconocidas en eventos como FITUR y forman parte de una estrategia transversal de transformación ambiental y social del modelo hotelero (Cadena SER, 2025a; 2025b).
- Accor es uno de los mayores grupos hoteleros del mundo, impulsó en 2012 el programa “Planet 21”, centrado en la implementación de prácticas de EC en sus establecimientos. La iniciativa busca reducir, reciclar y reutilizar materiales,

además de establecer alianzas con proveedores locales para aumentar el consumo responsable. Su enfoque general y su capacidad de adaptarse a diversos contextos hacen de Accor un referente internacional en turismo sostenible (Accor, 2025).

En el TFG se ha recurrido a la consulta de una amplia y diversa bibliografía, abarcando desde artículos científicos y publicaciones académicas hasta informes técnicos, literatura gris y documentación institucional. En concreto, se han utilizado fuentes contrastadas y de referencia, extraídas de bases de datos como el Buscador de la Universidad de Alcalá (UAH), Google Académico, Scopus y ScienceDirect, así como otras plataformas especializadas en sostenibilidad e innovación.

Se aplicará el método ReSOLVE, el cual resulta especialmente útil en el contexto de este TFG porque ofrece un marco estructurado, sistemático y práctico para analizar la aplicación de los principios de EC en organizaciones del sector servicios. Desarrollado por la consultora McKinsey junto con la Ellen MacArthur Foundation, ReSOLVE permite clasificar y evaluar estrategias circulares reales mediante seis acciones clave: Regenerar, Compartir, Optimizar, Bucle, Virtualizar e Intercambiar (Ellen MacArthur Foundation & McKinsey Center for Business and Environment, 2021).

Este enfoque es particularmente adecuado para el análisis de los casos seleccionados Artiem, Lopesan y Accor ya que permite identificar de manera precisa qué dimensiones de la circularidad están siendo priorizadas por cada empresa y cómo estas se articulan en la práctica y crear una metodología de análisis más compacta.

Al combinar datos sintéticos y modelos predictivos, el marco ReSOLVE no solo describe las innovaciones existentes, sino que también predice y evalúa los impactos potenciales de nuevas estrategias desde una perspectiva holística, alineada con los objetivos ambientales, económicos y sociales de la EC.

1. Regenerar (Regenerate)

Transición hacia fuentes de energía y materiales renovables, la restauración y preservación de ecosistemas, y la reintegración de recursos biológicos recuperados al biosistema, promoviendo un modelo de producción más sostenible.

2. Compartir (Share)

Reducir la velocidad de los ciclos de consumo y aumentar el uso de productos mediante diferentes estrategias:

- Intercambio entre personas
- Reutilización mediante la compra-venta de segunda mano.
- Extensión del ciclo de vida mediante mantenimiento, reparación y diseño enfocado en la durabilidad.

3. Optimizar (Optimise)

Aumentar la eficiencia y el rendimiento de los productos mediante:

- Reducir los residuos a lo largo de toda la cadena de producción y suministro.
- Automatizar y digitalizar el uso de datos, monitoreo remoto y control inteligente.

4. Bucle (Loop)

Mantener materiales y componentes dentro de ciclos cerrados, priorizando la remanufacturación y el reciclaje:

- Para materiales finitos, se prioriza la remanufacturación y, como último recurso, el reciclaje.
- Para materiales renovables, se promueve la digestión anaeróbica y la extracción de bioquímicos a partir de residuos orgánicos.

5. Virtualizar (Virtualise)

Promover la desmaterialización de los productos y servicios mediante su digitalización:

- Libros y música en formato digital.
- Compras en línea en lugar de tiendas físicas.
- Oficinas y flotas de vehículos autónomos virtualizadas.

6. Intercambiar (Exchange)

Sustitución de materiales y tecnologías convencionales por alternativas más avanzadas y sostenibles:

- Reemplazo de materiales tradicionales por innovaciones más eficientes.
- Aplicación de nuevas tecnologías que mejoren la sostenibilidad.
- Adopción de productos y servicios alternativos con menor impacto ambiental.

Se ha consultado bibliografía relevante de autores como Carrillo-Hermosilla, del Río y Könnölä, especialmente en lo relativo al análisis de eco-innovaciones y EC. De la misma manera se han incluido manuales de referencia en IA y ciencia de datos, como los trabajos de Domingos (2012), Hastie, Tibshirani y Friedman (2009), y Russell y Norvig (2021), fundamentales para comprender las bases técnicas de los modelos predictivos. Se ha utilizado el documento de Rafael Mora-Contreras et al. (2024) titulado “Eco-innovation for circular economy and sustainability performance: Insights and evidence from manufacturing firms”, publicado en la revista *Business Strategy and the Environment*, siendo parte fundamental de la base teórica y metodología utilizada en este TFG, ya que ha permitido a través de un análisis cuantitativo con datos de más de 3.000 empresas manufactureras identificar y validar un conjunto de dimensiones críticas que afectan la implementación de la EC y su relación con el desempeño sostenible, de las cuales se han seleccionado las presentes en la metodología de análisis.

También se ha incorporado literatura gris procedente de entidades como la Fundación Ellen MacArthur, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), la Unión Europea (con documentos clave como el Plan de Acción para la EC) o la Agencia Europea de Medio Ambiente entre otros. Esta documentación ha sido muy importante para contextualizar la transformación del sector turístico hacia modelos

más sostenibles, así como para fundamentar el enfoque metodológico basado en datos sintéticos y herramientas de IA.

En este TFG se crea y expone una propuesta metodológica detallada para la creación de datos sintéticos con el objetivo de alimentar un modelo de IA capaz de predecir el rendimiento de innovaciones circulares. Es importante señalar que el presente trabajo no desarrolla tecnología propia ni implementa técnicamente el modelo propuesto. Tampoco se lleva a cabo una validación empírica de las herramientas planteadas. El enfoque se limita a formular un marco teórico-práctico que describe cómo debería llevarse a cabo este proceso, recomendando las herramientas más adecuadas según el criterio del autor del TFG, en función de su análisis de capacidades y aplicaciones actuales.

Las empresas interesadas en evaluar sus predicciones siguiendo la metodología redactada en este TFG, disponen o pueden estimar con precisión toda la información necesaria para evaluar cada una de las variables del modelo. A diferencia del análisis comparativo realizado en este estudio, que se ve limitado por la falta de datos públicos o accesibles, las empresas podrán introducir sus propios datos reales con un conocimiento completo de su contexto, lo que garantiza evaluaciones más precisas y coherentes. Aunque el modelo predictivo se entrene inicialmente con datos sintéticos generados a partir de estimaciones, su calidad no se ve comprometida, ya que dichos datos han sido validados por expertos. Esta validación profesional aporta solidez al sistema, convirtiéndolo en una herramienta fiable y útil para la toma de decisiones estratégicas sobre innovación circular.

La segunda fase, de carácter experimental y cuantitativo, se centra en la generación de datos sintéticos para poblar bases de datos sobre innovaciones circulares. Las bases de datos serán hojas de rúbrica en formato tabla, que se podrán analizar en el Anexo 1 y en el Anexo 2. Esta población será posible gracias a los datos reales obtenidos del análisis de los 3 casos de innovación analizados en este TFG. Una vez se tienen los datos suficientes se llevará a cabo la evaluación por parte del modelo de IA de las innovaciones sintéticas presentes en la hoja de rúbrica, dicho modelo generará una nota para cada innovación en función de la de la fórmula detallada, se pueden ver en

el Anexo 3, tras ello los expertos harán su propia evaluación y análisis, que será comparada con la del modelo de predicción basado en IA. De esta manera, el modelo creará una primera estimación de la nota y podrá aprender de los expertos para minimizar los errores y dar la mejor respuesta, lo que permitirá estimar el rendimiento potencial de una innovación circular según tres dimensiones fundamentales: impacto económico, impacto ambiental e impacto social, y lograr un porcentaje de éxito mayor. Gracias a los expertos, el modelo cambia su fórmula inicial, modificando los pesos, los puntos por variables y su lógica en función de la nueva información obtenida.

La generación de datos sintéticos es un método pionero y reciente en la ciencia de datos creado para destacar en contextos donde los datos reales son pocos, incompletos o sensibles desde la perspectiva de la privacidad. Este procedimiento está basado en la producción de datos artificiales que muestran características estadísticas y estructurales de los datos empíricos reales, de manera que puedan aplicarse en tareas de análisis, modelado o predicción. Ha sido utilizado, por ejemplo, en el ámbito de la salud, finanzas o la IA; su uso se ha comenzado a extender también a contextos emergentes como el análisis de innovaciones circulares.

En cuanto a los expertos, deben ser personas con un amplio conocimiento en la materia, que conozcan en profundidad la EC y el sector turístico. Estos profesionales deben tener experiencia práctica en sostenibilidad, estar familiarizados con indicadores económicos, ambientales y sociales, y saber aplicar criterios de evaluación de forma estructurada y objetiva. Además, es importante que puedan justificar sus valoraciones y aportar retroalimentación clara, ya que sus respuestas servirán para comparar y ajustar las puntuaciones del modelo, ayudándolo a aprender y a generar resultados cada vez más precisos y útiles. Con el fin de enriquecer la calidad del aprendizaje del sistema y garantizar una mayor representatividad en los juicios emitidos, se propone contar con un grupo de 5 expertos, con diversidad de género, con carreras profesionales diferentes, en franjas de edades distintas y seleccionados estratégicamente bajo criterios de calidad y experiencia.

Esta diversidad busca asegurar una amplitud de perspectivas, ya que las innovaciones circulares pueden ser interpretadas de formas distintas en función de la experiencia

profesional, el contexto generacional o la sensibilidad hacia determinadas áreas (económica, ambiental o social). Al incluir perfiles variados, se fomenta un modelo más equilibrado y menos sesgado, capaz de generalizar mejor y adaptarse a distintos tipos de innovaciones y realidades empresariales.

Para el análisis inicial de las variables por el modelo se ha optado por un sistema de puntuación basado en cuatro niveles de nota (0, 5, 8 o 10) para evaluar cada una de las variables dentro de las tres dimensiones clave: económica, ambiental y social. Esta elección responde a la necesidad de establecer un sistema claro, práctico y coherente, que permita comparar de manera objetiva el rendimiento de diferentes innovaciones circulares en el sector hotelero.

La escala seleccionada se fundamenta en criterios cualitativos y cuantitativos que reflejan el grado de cumplimiento, alcance e impacto de cada innovación en función de los datos disponibles:

- Una nota de 10 se asigna cuando la innovación alcanza un nivel óptimo en esa variable de estudio, con impacto claro, medible y alineado con buenas prácticas de referencia.
- Una nota de 8 indica un nivel notable, con un buen desempeño en la variable evaluada, aunque con margen de mejora o menor grado de implantación.
- Una nota de 5 representa un cumplimiento básico o limitado en esa variable de estudio, con acciones poco desarrolladas, sin datos concluyentes o con bajo impacto real.
- Una nota de 0 en caso de que no se disponga de los datos suficientes como para verificar dicha información o con la información suficiente no alcance para el siguiente nivel.

Este sistema evita la ambigüedad de escalas más amplias y subjetivas, facilitando así la homogeneidad en la evaluación de casos y la comparación entre hoteles. Además,

permite estructurar los resultados de forma clara, útil tanto para el análisis académico como para su posible aplicación en entornos profesionales de decisión estratégica en sostenibilidad.

En cuanto a las categorías de evaluación y peso en la nota para el modelo se proponen tres dimensiones de desempeño de una innovación circular, económico, ambiental y social las cuales responden al enfoque clásico del desarrollo sostenible, el cual busca equilibrar el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social. Este enfoque está ampliamente respaldado por organismos internacionales como Naciones Unidas y por marcos de referencia como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el modelo ESG (Environmental, Social and Governance) o la economía del donut de Raworth (2017), y para cada una de ellas una serie de variables, seleccionadas a partir del trabajo de Rafael Mora-Contreras (2024), quien propone un marco de análisis para evaluar el impacto de las innovaciones circulares desde una perspectiva integral.

Asimismo, se ha diseñado un baremo cerrado de puntuación para cada variable, basado en rangos cuantitativos claramente definidos, lo que permite crear una fórmula definida y sencilla de la que partirá el modelo en su primera predicción, la cual funciona a modo de aproximación. Este enfoque está alineado con buenas prácticas metodológicas de organismos como la Global Reporting Initiative (GRI) y estudios como los de Potting et al. (2017), que defienden la necesidad de establecer métricas claras y comparables para evaluar la circularidad.

Se propone un baremo de puntuación, tal y como se detalla a continuación:

- Económico (30%)

La dimensión económica ha sido ponderada con un 30 % debido a que la viabilidad financiera de una innovación circular es fundamental para su implementación, continuidad y escalabilidad. Las empresas necesitan que sus iniciativas sostenibles no solo generen beneficios ambientales, sino que también sean rentables o al menos económicamente viables. Sin esta condición, muchas innovaciones, por más

sostenibles que sean, corren el riesgo de quedar en el plano teórico o limitado a proyectos piloto.

Tal y como subraya Kirchherr et al. (2017), uno de los principales frenos para adoptar modelos circulares es la falta de incentivos económicos claros o el desconocimiento del retorno financiero asociado a estas prácticas. Por tanto, incluir esta dimensión con un peso del 30 % permite reconocer el papel clave que tiene la economía en la toma de decisiones empresariales, sin que opaque el objetivo central ambiental del enfoque circular.

Por ello, esta dimensión tiene 3 variables de estudio, cada una con un valor de un 10%:

1. Número e importancia de innovaciones circulares puestas en marcha en los últimos 5 años.

Recuento de innovaciones circulares e importancia de estas.

2. Inversión en las innovaciones llevadas a cabo por la empresa en los últimos 5 años.

Cantidad invertida en energías renovables o cantidad generada por estas vías.

3. Generación de nuevos ingresos o valor económico en los últimos 5 años.

Por ejemplo, aumento en reservas, mejora de tarifas o venta de nuevos productos/servicios sostenibles.

- Ambiental (40%)

Se ha otorgado el mayor peso (40 %) a la dimensión ambiental porque la EC tiene como objetivo principal reducir el impacto ambiental de las actividades humanas. Este TFG se enmarca en el estudio de innovaciones que, en esencia, buscan transformar modelos lineales de producción y consumo en modelos circulares, donde el ahorro de recursos, la reducción de residuos y la mitigación del cambio climático son ejes centrales. Como señala la Fundación Ellen MacArthur, uno de los pilares fundamentales de la EC es preservar y mejorar el capital natural, controlando los flujos finitos y regenerando los recursos renovables, lo que sitúa el desempeño ambiental

como una prioridad estructural dentro de esta lógica (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Por tanto, el impacto ambiental representa el corazón de este tipo de innovaciones, y cualquier evaluación que pretenda medir su calidad debe priorizar esta dimensión sobre las demás. La elección del 40 % responde así a la necesidad de que este impacto tenga un peso diferencial sin desestimar la relevancia del resto de variables, como la viabilidad económica o la inclusión social.

Por ello, esta dimensión tiene 4 variables de estudio, cada una con un valor de un 10%:

1. Reducción de residuos generados en los últimos 5 años
Medido en porcentaje o volumen evitado/reutilizado.
2. Reducción de emisiones o huella ecológica en los últimos 5 años
Toneladas de CO₂ evitadas o porcentaje respecto al modelo anterior.
3. Ahorro energético y/o hídrico en los últimos 5 años
Porcentaje de mejora en consumo de electricidad, agua o combustibles.
4. Número de R's según el modelo clásico cumple la innovación (últimos 5 años)
Número de R's según el modelo clásico de las 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar)
que cumple la innovación analizada

- Social (30%)

También se ha asignado un 30 % de peso a la dimensión social, reconociendo que la transición hacia una EC debe ser justa, inclusiva y generar beneficios sociales tangibles. En el contexto del sector turístico, donde el empleo, el trato a las comunidades locales y la cultura organizativa son esenciales, esta dimensión cobra especial importancia.

Según el informe de la European Commission (2020), la EC no solo debe ser ecológicamente sostenible, sino también socialmente equitativa, generando empleo

digno, promoviendo la cohesión territorial y facilitando la participación ciudadana. Además, las innovaciones circulares bien gestionadas pueden contribuir a crear “empleos verdes”, apoyar a pequeños proveedores locales y mejorar la percepción social de las marcas.

Por ello, esta dimensión tiene 3 variables de estudio, cada una con un valor de un 10%:

1. Empleados locales contratados (últimos 5 años)

Porcentaje de empleados locales contratados por la empresa.

2. Participación en iniciativas sociales o comunitarias (últimos 5 años)

Número de participaciones sociales o comunitarias llevadas a cabo por la empresa.

3. Formación y sensibilización interna en los últimos 5 años.

Número de horas de formación, campañas, programas internos aplicados al personal.

Cada innovación será calificada en base 10 para cada criterio y el modelo calculará una nota final ponderada con la fórmula:

$$\text{Nota final} = (\text{Puntos Económicos} \times 0.3) + (\text{Puntos Ambientales} \times 0.4) + (\text{Puntos Sociales} \times 0.3)$$

El método de análisis propuesto en este TFG no se limita únicamente a evaluar los parámetros técnicos de la innovación circular que se desea implementar, sino que también incorpora variables relacionadas con la empresa que la lleva a cabo. Esta decisión responde a la idea de que en sostenibilidad no solo importa el qué se hace, sino también el cómo, por qué y el quién lo hace.

Factores como la trayectoria de la empresa, su compromiso previo con la sostenibilidad, la forma en la que integra la innovación en su modelo de negocio, o su capacidad de impacto y escalabilidad, influyen directamente en la calidad y efectividad real de

cualquier iniciativa circular. Por ello, el sistema de puntuación contempla dimensiones como la inversión realizada, las certificaciones obtenidas, el grado de implicación interna o la colaboración con proveedores sostenibles, permitiendo así una evaluación más completa y contextualizada de cada caso. Esta visión integral es clave para valorar de forma realista el potencial transformador de una innovación en la práctica.

Esta metodología de análisis ha sido diseñada para aplicarse a empresas de tamaño similar, con el fin de garantizar una comparación justa y coherente entre las innovaciones evaluadas. En este TFG, el enfoque se ha centrado específicamente en grandes empresas del sector turístico, ya que son las que actualmente disponen de más datos accesibles, tanto públicos como internos, y permiten realizar un análisis más riguroso y completo.

Estas grandes compañías suelen contar con recursos suficientes para poder invertir en sostenibilidad, están sujetas a una mayor presión reputacional y regulatoria, y tienen una motivación real por integrar la EC en sus estrategias.

De todas maneras, no existen restricciones en cuanto al tamaño, sector o nivel de digitalización de la organización. Si una empresa cuenta con información suficiente sobre sus prácticas en materia económica, ambiental y social y está dispuesta a seguir una metodología estructurada y basada en datos, puede incorporar este modelo sin dificultad.

Una vez establecida la metodología de evaluación de innovaciones circulares para el modelo, se debe explicar que los expertos utilizan su propio criterio profesional y experiencia para evaluar cada documento de innovación, teniendo en cuenta el contexto y la coherencia de los datos presentados, dando una nota a cada dimensión en función de sus criterios y obteniendo una nota final que será comparada con el modelo. No obstante, para asegurar la comparabilidad y consistencia de las evaluaciones, se les facilitará una hoja de rúbrica con las escalas, descripciones y puntuaciones establecidas en la metodología del TFG.

El siguiente paso fundamental es la generación de datos sintéticos, que servirá como base para entrenar un modelo de IA. Este modelo predictivo permitirá anticipar la puntuación de éxito de nuevas innovaciones en función de los criterios económicos, ambientales y sociales previamente definidos.

Una vez analizadas las innovaciones circulares por el modelo, los resultados serán comparados con las evaluaciones realizadas por expertos en sostenibilidad y EC, que puntuarán esas mismas innovaciones siguiendo la misma estructura, pero con sus criterios propios. Esta comparación entre el juicio experto y la predicción del modelo permitirá identificar errores, discrepancias o desviaciones significativas, que servirán como base para ajustar, entrenar y mejorar progresivamente el sistema predictivo.

De este modo, los datos sintéticos no se utilizan únicamente como sustitutos de datos reales debido a su escasez, sino como una plataforma de aprendizaje para el modelo de IA, validada por profesionales del sector. Esta validación cruzada permitirá que el modelo aprenda de sus errores, refine su capacidad de análisis y, en consecuencia, esté preparado para evaluar con alta precisión nuevas innovaciones circulares propuestas por empresas reales. Así, se construye un sistema robusto, ético y escalable, capaz de anticipar el impacto de estrategias sostenibles y facilitar la toma de decisiones en entornos turísticos en transición hacia la EC.

Por lo tanto, el camino propuesto en este TFG para desarrollar una metodología aplicable por empresas del sector servicios que deseen predecir el comportamiento de innovaciones circulares antes de su implementación, consta de las siguientes etapas:

1. Análisis de casos reales:

Se seleccionan y analizan tres innovaciones circulares en el sector hotelero (Artiem, Lopesan y Accor), escogidas por su relevancia, diversidad geográfica y grado de madurez. A través de un análisis intra e inter-casos, se identifican las tres dimensiones clave de la circularidad (económica, ambiental y social) y se definen las variables críticas para su evaluación. Esta información se estructura mediante el modelo ReSOLVE, que permite clasificar de forma sistemática las estrategias circulares presentes en cada caso.

2. Diseño de la rúbrica y fórmula de evaluación:

A partir del análisis anterior, se crea una rúbrica de evaluación que recoge las variables clave, con una escala de puntuación cerrada (0, 5, 8 y 10) y una fórmula que pondera las dimensiones según su importancia: 30 % para la dimensión económica, 40 % para la ambiental y 30 % para la social. Esta estructura servirá como base tanto para la evaluación de futuras innovaciones como para entrenar al modelo predictivo.

3. Generación de datos sintéticos:

Utilizando los casos reales como referencia, se generan datos sintéticos que simulan nuevas innovaciones con características realistas. Estos datos rellenan las hojas de rúbrica y permiten que tanto el modelo de IA como un grupo de expertos en sostenibilidad las evalúen paralelamente.

4. Comparación y aprendizaje del modelo:

El modelo predice una nota inicial para cada innovación, siguiendo la fórmula establecida ($\text{Nota final} = \text{Puntos Económicos} \times 0,3 + \text{Puntos Ambientales} \times 0,4 + \text{Puntos Sociales} \times 0,3$). A su vez, los expertos analizan las mismas innovaciones con los mismos datos, pero aplicando su criterio profesional. Las discrepancias entre ambas evaluaciones permiten entrenar y ajustar el modelo, que modifica sus pesos y rangos de puntuación para mejorar progresivamente su precisión.

5. Aplicación del modelo por parte de las empresas:

Una vez entrenado y validado, el modelo está preparado para ser utilizado por cualquier empresa interesada en evaluar el potencial de sus propias innovaciones circulares. Para ello, solo debe disponer de datos fiables sobre cada una de las variables del modelo. La metodología desarrollada permite adaptar el sistema con expertos propios, ajustándolo a las características y objetivos de cada organización.

Este enfoque permite no solo abordar la complejidad existente en los procesos de innovación circular, sino también dotar a la investigación de una herramienta replicable que puede ser utilizada por empresas y entidades públicas interesadas en evaluar estrategias de sostenibilidad antes de implementarlas y proponer una solución para la escasez de datos reales sobre este tipo de innovaciones. De este modo, la metodología

propuesta se alinea con los principios de eficiencia, anticipación y ética de la IA, al tiempo que responde a la necesidad de generar modelos flexibles y adaptables a las particularidades de cada entorno. Se busca solucionar 2 problemas principales, la falta de información sobre innovaciones circulares y la falta de herramientas capaces de predecir y anticipar el comportamiento de innovaciones, para que las empresas puedan tomar las mejores decisiones basándose en un criterio claro y útil.

4. Análisis y Resultados

El objetivo principal de esta sección es identificar y estudiar cómo diferentes tipos de innovaciones circulares, tanto incrementales como radicales, se comportan antes de que se pongan en marcha, en el sector hotelero. De esta manera, la empresa podrá predecir qué alternativa es mejor en base a unos criterios relevantes y fundamentados, haciendo que su selección sea mucho más sencilla. La propuesta presentada no pretende ser de ayuda tan solo para las empresas del sector, sino para cualquier otro agente relacionado con dicha innovación, ya que de esta manera se podrá usar un enfoque preventivo en vez de uno reactivo, lo que nos permitirá tener una actitud proactiva, como explica Carrillo-Hermosilla (2006).

Como ya se ha expuesto, se busca crear y analizar datos sintéticos para entender cómo y con qué resultados pueden funcionar nuevas prácticas de EC antes de que se implementen en la realidad. En el Anexo 3 se recogen datos de innovaciones circulares sintéticas en el sector terciario, y la información necesaria para ser evaluadas tanto por expertos como por el modelo.

En primer lugar, se presenta un análisis cualitativo detallado de tres casos reales seleccionados de acuerdo con los criterios explicados en la anterior sección, Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group y Accor, en los que se identifican las estrategias circulares implementadas, su alineación con el marco ReSOLVE, y su desempeño en tres dimensiones clave: económica, ambiental y social. Posteriormente, se realiza una evaluación comparativa entre los casos, asignando puntuaciones en base a los criterios definidos en el sistema de ponderación.

La segunda parte de esta sección se centra en la propuesta metodológica para la construcción de un sistema de análisis predictivo, basado en IA, que se entrena a partir de datos sintéticos generados con herramientas especializadas; en este TFG se usará Gretel AI. Esta propuesta plantea la creación de datos sintéticos a partir de numerosos casos de innovaciones circulares con toda la información necesaria para que los expertos las puedan evaluar de la mejor manera posible, mejorando la metodología de análisis inicial y el modelo. Estos datos permiten simular múltiples escenarios de implementación de innovaciones circulares en el sector turístico, dando la información necesaria sobre su probable desempeño futuro en las dimensiones económica, ambiental y social. A través de esta simulación, no se pretende desarrollar un modelo técnico final, sino establecer un marco de trabajo validado conceptualmente, que sirva como base para futuras aplicaciones reales.

El verdadero valor de este enfoque reside en que los resultados obtenidos por el modelo, es decir, las puntuaciones asignadas a cada innovación circular simulada serán comparados con las valoraciones de expertos en sostenibilidad y EC. Esta comparación permitirá detectar desviaciones y corregir posibles errores, posibilitando que el modelo aprenda y mejore progresivamente, aumentando su precisión con cada iteración. En este sentido, los datos sintéticos no solo suplen la ausencia de datos reales, sino que se convierten en instrumentos de entrenamiento y validación para un sistema inteligente con capacidad de aprendizaje supervisado. Se plantea la elaboración de hojas de cálculo en las que se registren las tres dimensiones descritas y las variables existentes en cada una de ellas, para las cuales se generará la información pertinente. El modelo otorgará una calificación en función de la metodología planteada y la comparará con las que los expertos hayan dado a cada innovación planteada en ese documento bajo su propia opinión, para poder corregir los errores del modelo, acercándose al conocimiento de los expertos revisión tras revisión, hasta lograr una calidad de análisis óptima. Para entender mejor los pasos descritos, ver los Anexos 1, 2 y 3.

Las puntuaciones obtenidas previamente a partir del análisis cualitativo de los tres casos reales seleccionados, Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group y Accor, tienen un papel estratégico dentro del trabajo, ya que sirven para crear la hoja de rúbrica y además para entrenar a la herramienta de generación de datos sintéticos con datos e

innovaciones reales. Estas calificaciones permiten comparar el grado de circularidad de cada innovación implementada y sirven como base empírica de calibración para el entrenamiento inicial del modelo. Al tratarse de innovaciones reales, contrastadas y contextualizadas en el sector hotelero europeo, estas evaluaciones permiten establecer patrones, márgenes y escalas de puntuación válidas y transferibles al análisis de nuevos casos simulados mediante datos sintéticos.

Para poder otorgar a cada innovación circular una calificación objetiva, comparable y medible, es imprescindible identificar un conjunto de características clave (variables) en cada caso. Estas variables han sido definidas con base a los criterios propuestos por Mora-Contreras et al. (2024), y se estructuran en torno a las tres dimensiones fundamentales de evaluación ya planteadas: económica, ambiental y social. Este sistema de variables constituye el núcleo del modelo propuesto, ya que permite estandarizar el análisis, facilitar la comparación entre casos y alimentar de forma coherente el motor de predicción basado en IA. Dichas innovaciones y variables están detalladas en los Anexos 1 y 2.

Como ya se ha explicado, estas características deben ser cuantificables, medibles y aplicables a cualquier innovación, para que el método de análisis sea viable y replicable. El análisis que se explica a continuación permite obtener una puntuación dentro de una escala de 1 a 10, siendo las variables empleadas para evaluar el rendimiento de innovaciones circulares en el sector hotelero fundamentadas en los criterios y hallazgos expuestos por Mora-Contreras et al. (2024). En este trabajo, los autores identifican dimensiones clave para analizar el impacto de la EC, incluyendo características de las innovaciones (como su grado de novedad o radicalidad), fuentes de información, cooperación con actores externos, barreras organizativas y recursos disponibles. Asimismo, proponen un enfoque multidimensional del desempeño sostenible, considerando variables económicas, ambientales, sociales y de innovación.

Tomando como base esta estructura teórica y empírica, las variables incluidas en el sistema de puntuación de este TFG han sido seleccionadas por su relevancia, aplicabilidad al contexto turístico y capacidad para ser medidas de forma objetiva y comparable. Entre ellas se incluyen la reducción de residuos, las emisiones evitadas,

la inversión en innovación, la colaboración con proveedores locales, la formación interna, y las certificaciones obtenidas, entre otras. También se han creado unos rangos para cada calificación, de modo que el modelo pueda dar una calificación agregada, de manera rápida y sencilla, solo teniendo en cuenta en qué franja se encuentra y qué calificación tiene en cada franja.

En conclusión, esta metodología propone tres dimensiones de desempeño de una innovación circular, económico, ambiental y social las cuales responden al enfoque clásico del desarrollo sostenible, el cual busca equilibrar el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social. Este enfoque está ampliamente respaldado por organismos internacionales como Naciones Unidas y por marcos de referencia como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el modelo ESG (Environmental, Social and Governance) o la economía del donut de Raworth (2017), y para cada una de ellas una serie de variables, seleccionadas a partir del trabajo de Rafael Mora-Contreras (2024), quien propone un marco de análisis para evaluar el impacto de las innovaciones circulares desde una perspectiva integral. Además se propone un baremo de puntuación, tal y como se detalla a continuación:

Dimensión Económica (30 %)

1. Número de innovaciones circulares puestas en marcha por la empresa (últimos 5 años)

0 puntos: No se han identificado innovaciones circulares.

5 puntos: De 1 a 2 innovaciones circulares.

8 puntos: De 3 a 6 innovaciones circulares.

10 puntos: 6 o más innovaciones circulares implementadas.

2. Inversión en las innovaciones llevadas a cabo por la empresa (últimos 5 años)

0 puntos: No hay inversión conocida o registrada.

5 puntos: De 100.000 € a 500.000 € de inversión.

8 puntos: De 500.001 € a 5.000.000 € de inversión.

10 puntos: Más de 5.000.000 € de inversión.

3. Generación de nuevos ingresos o valor económico (últimos 5 años)

0 puntos: No se ha generado valor económico adicional.

5 puntos: Entre 10.000 € y 100.000 € generados.

8 puntos: Entre 100.001 € y 300.000 €.

10 puntos: Más de 300.001 € generados.

El Anexo 1 recoge una tabla diseñada específicamente para ser completada por cada experto. En ella se recopila información básica de cada innovación circular (nombre del hotel e iniciativa evaluada) y se valoran tres variables de la dimensión económica: número e importancia de innovaciones, inversión realizada y generación de ingresos o valor económico. La suma ponderada de estas variables genera la "Nota Económica".

Rellenar por el modelo		Económica			Nota Económica
Nº de Innovación	Información		Económica		
	Hotel	Innovación Circular	Número e importancia de innovaciones circulares	Inversión en innovaciones	Generación de nuevos ingresos o valor económico
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Anexo 1. Plantilla de evaluación experta de innovaciones circulares – Dimensión Económica (desarrollo propio).

Dimensión Ambiental (40 %)

1. Reducción de residuos generados por la empresa (últimos 5 años)

0 puntos: No hay reducción registrada.

5 puntos: Eliminación o reutilización de 0 a 1 tonelada.

8 puntos: De 2 a 5 toneladas.

10 puntos: Más de 5 toneladas de residuos reducidos o reutilizados.

2. Reducción de emisiones o huella ecológica (últimos 5 años)

0 puntos: No hay reducción registrada.

5 puntos: De 0 a 100 toneladas de CO₂ evitadas.

8 puntos: De 101 a 300 toneladas de CO₂.

10 puntos: Más de 300 toneladas de CO₂ evitadas.

3. Ahorro energético y/o hídrico (últimos 5 años)

0 puntos: No hay reducción registrada.

5 puntos: Reducción del 1 % al 10 %.

8 puntos: Reducción del 11 % al 20 %.

10 puntos: Reducción igual o superior al 21 %.

4. Número de Rs según el modelo clásico cumple la innovación (últimos 5 años)

0 puntos: No cumple ninguna

5 puntos: Cumple con 1 R del modelo clásico

8 puntos: Cumple con 2 Rs del modelo clásico

10 puntos: Cumple con las 3 Rs del modelo clásico

El Anexo 1 incluye una tabla que estructura la evaluación de la dimensión ambiental, considerando esas cuatro variables principales: reducción de residuos generados, reducción de emisiones o huella ecológica, ahorro energético y/o hídrico, y número de R's según el modelo clásico cumple la innovación. Esta información permite valorar de forma precisa el impacto ambiental de cada innovación desde una perspectiva cuantitativa y cualitativa.

Ambiental				Nota Ambiental
Reducción de residuos generados	Reducción de emisiones o huella ecológica	Ahorro energético y/o hídrico	Número de R's según el modelo clásico cumple la innovación	

Anexo 1. Plantilla de evaluación experta de innovaciones circulares – Dimensión Ambiental (desarrollo propio).

Dimensión Social (30 %)

1. Empleados locales contratados (últimos 5 años)

0 puntos: Menos del 20 % del personal es local o residente en la zona.

5 puntos: Entre el 20 % y el 40 % del personal es local.

8 puntos: Entre el 41 % y el 60 % del personal es local.

10 puntos: Más del 60 % del personal contratado es local.

2. Participación en iniciativas sociales o comunitarias (últimos 5 años)

0 puntos: Sin iniciativas o colaboraciones sociales documentadas.

5 puntos: Participación puntual en 1-2 eventos o colaboraciones.

8 puntos: Participación regular en 3-4 iniciativas sociales o comunitarias.

10 puntos: Participación activa y continuada en 5 o más proyectos sociales con impacto real.

3. Formación y sensibilización interna (últimos 5 años)

0 puntos: Sin programas ni actividades registradas.

5 puntos: De 100 a 300 horas de formación.

8 puntos: De 301 a 1.000 horas.

10 puntos: Más de 1.000 horas de formación impartidas.

El Anexo 1 muestra la tabla diseñada para la evaluación social de las innovaciones, organizada en torno a esas tres variables principales: empleados locales contratados, participación en iniciativas sociales o comunitarias, y las acciones de formación y sensibilización interna. Esta estructura permite que los expertos valoren de manera homogénea el compromiso social de las organizaciones evaluadas.

Social			Nota Social	Nota Final Media
Empleados locales contratados	Participación en iniciativas sociales o comunitarias	Formación y sensibilización interna		

Anexo 1. Plantilla de evaluación experta de innovaciones circulares – Dimensión Social (desarrollo propio).

Sintetizando, el Anexo 1 presenta la rúbrica de análisis desarrollada específicamente para el análisis por parte del modelo de las innovaciones. La plantilla está estructurada de tal manera que permite al modelo hacer el análisis y ser compatible con el análisis de los expertos para ser comparado después. El Anexo 1 y 2 son idénticos, pero cada uno recogerá las calificaciones del modelo y de los expertos por separado. Esta herramienta integra las tres dimensiones clave de la sostenibilidad (económica, ambiental y social), cada una desglosada en variables concretas y puntuables que facilitan la obtención de una calificación final ponderada.

Cada sección incorpora una columna final para anotar la puntuación parcial por dimensión, así como una columna adicional para la calificación media final de cada innovación evaluada. Esta estructura permite tanto el uso experto manual como su integración en el sistema predictivo del modelo GBM, facilitando el aprendizaje automático y la validación cruzada con datos reales y sintéticos.

De este modo, las calificaciones asignadas a Artiem, Lopesan y Accor permiten afianzar los criterios de puntuación, verificar la aplicabilidad del sistema propuesto y dar coherencia a las predicciones realizadas en la segunda fase del estudio. Gracias a esta doble función, analítica y formativa, las calificaciones obtenidas por los casos reales no

son un fin en sí mismo, sino una herramienta de validación externa del modelo que fortalecerá su fiabilidad predictiva y su utilidad práctica en contextos reales de toma de decisiones.

Además, estos análisis permiten al modelo aprender de casos reales y crear datos sintéticos basados en un historial previo.

4.1. Presentación y análisis de los casos de estudio

4.1.1. Artiem Hotels (España) – 2022

Artiem Hotels, cadena menorquina con un fuerte compromiso con la sostenibilidad, ha sido pionera en la integración de principios de EC en la gestión hotelera.

ARTIEM Hotels ha desarrollado en los últimos años un conjunto de innovaciones que reflejan su firme compromiso con la EC y la sostenibilidad, integrando acciones medibles en las dimensiones ambiental, económica y social. Entre las más destacadas se encuentra el “Proyecto 8/80”, lanzado en 2017, con el objetivo de reducir en un 80 % sus emisiones de CO₂ en ocho años. Hasta 2021, se había alcanzado una disminución del 26,3%. A este proyecto se suman al menos cinco innovaciones clave implementadas entre 2020 y 2022, como la instalación de placas fotovoltaicas que en 2021 generaron 105.441 kWh, cubriendo el 4,7 % del consumo energético de los hoteles y la eliminación de 66.000 botellas de plástico mediante un sistema de microfiltración de agua (ARTIEM Hotels, 2022).

En 2022, se convirtió en la primera cadena española en obtener la certificación de “Estrategia de Economía Circular” por parte de AENOR (AENOR, 2022), y previamente fue reconocida como la primera cadena hotelera europea certificada como B Corp (Foodies on Menorca, 2025). Su estrategia se centra en la valorización de residuos y la creación de valor local a través de colaboraciones con entidades artesanas. Entre las iniciativas más destacadas se encuentra la reutilización de microplásticos y jaboneras, convertidos en objetos funcionales y decorativos mediante alianzas con talleres como Scøne Design.

Esta iniciativa no solo reduce significativamente la cantidad de residuos enviados a vertedero, sino que también convierte un residuo en un recurso con valor añadido, cerrando el ciclo de uso dentro del propio entorno del hotel. Además, esta práctica se enmarca en un enfoque de triple impacto (económico, ambiental y social), ya que:

- Evita residuos y reduce el impacto ambiental.
- Fomenta la economía local, al colaborar con pequeños talleres artesanos.
- Refuerza la identidad de marca, al ofrecer una experiencia sostenible diferenciada al cliente.

La cadena ha implementado, además, sistemas de monitorización del desperdicio alimentario, permitiendo medir la generación de residuos por cliente y día y aplicar mejoras continuas. También ha participado en el desarrollo de la herramienta CirHot, en colaboración con AENOR y la Fundación Impulsa, que permite evaluar el nivel de circularidad en establecimientos hoteleros.

Desde una perspectiva estratégica, Artiem se alinea con las estrategias R4-R7 del marco propuesto por Potting et al. (2017), abordando acciones de reutilización, reparación y remanufactura adaptadas al contexto turístico. Estas medidas tienen un impacto ambiental directo, al reducir la generación de residuos y fomentar la eficiencia en el uso de recursos; un impacto económico, al disminuir costes operativos y reforzar el posicionamiento de marca; y un impacto social, al generar empleo local y fortalecer el tejido productivo de proximidad.

El uso de datos sintéticos en este contexto permitiría a Artiem simular escenarios futuros de generación de residuos, optimizar procesos internos y entrenar modelos predictivos que estimen el rendimiento ambiental y económico de sus prácticas circulares sin necesidad de depender exclusivamente de registros históricos reales, los cuales pueden ser limitados o sensibles (Zhao, Song & Liu, 2019; Goncalves et al., 2020).

La principal innovación circular implementada por Artiem Hotels en 2022 consiste en la reutilización de microplásticos y jaboneras en el propio hotel para transformarlas en objetos artesanales a través de la colaboración con talleres locales de Menorca (AENOR, 2022; Foodies on Menorca, 2025).

Esta acción puede analizarse a través del marco ReSOLVE, desarrollado por la Ellen MacArthur Foundation y McKinsey, que clasifica las estrategias circulares en seis áreas clave: regenerar, compartir, optimizar, ciclar, alargar y empoderar (Ellen MacArthur Foundation & McKinsey, 2021).

En el eje ciclar, la innovación alcanza su mayor grado de aplicación, al mantener materiales plásticos en uso mediante su transformación artesanal, cerrando así el ciclo del recurso a nivel local. También destaca en la estrategia de optimizar, al mejorar la eficiencia operativa del hotel al reducir residuos y evitar costes de gestión adicionales. La estrategia de alargar se ve reflejada en la prolongación de la vida útil de materiales que antes se desechaban, ahora reconvertidos en productos útiles o decorativos. En cuanto a empoderar, Artiem fomenta la participación de actores locales y promueve la conciencia ambiental entre sus clientes, además de consolidar su compromiso ético a través de la certificación como empresa B Corp. Por otro lado, las estrategias de regenerar y compartir tienen una aplicación más limitada en este caso concreto, ya que no se observa una regeneración directa de recursos naturales ni un sistema de uso compartido de productos o instalaciones.

Este enfoque demuestra cómo una innovación aparentemente sencilla puede integrar múltiples principios de la EC, generando beneficios ambientales, sociales y económicos, y sirviendo como ejemplo replicable en el sector turístico.

4.1.2. Lopesan Hotel Group (España) – 2024

Lopesan Hotel Group, con sede en Gran Canaria, ha desarrollado en 2024 el programa “Lopesan for Good”, una estrategia integral centrada en la sostenibilidad y la EC. Este plan articula acciones orientadas a la descarbonización, la reducción de residuos y el consumo responsable, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática antes de 2030 (Cadena SER, 2024a). Entre sus principales medidas destacan la inversión en sistemas de energía renovable, la eliminación progresiva de plásticos de un solo uso, y la promoción de productos de kilómetro cero como forma de reducir la huella de carbono y fortalecer el tejido económico local.

Una de las particularidades de este enfoque es su dimensión sistémica: no se limita a la gestión interna, sino que incorpora también criterios de circularidad en la cadena de suministro y el diseño de experiencias para los clientes. A través de la monitorización de consumos y residuos, la compañía ha avanzado en la implementación de soluciones inteligentes para optimizar procesos y reducir el impacto ambiental sin comprometer la calidad del servicio.

Desde el punto de vista estratégico, Lopesan se alinea principalmente con las estrategias R2–R4 del marco de Potting et al. (2017), fomentando el repensar y reducir el consumo mediante medidas tecnológicas y organizativas, así como la reutilización de recursos dentro de su operativa. Estas acciones generan un triple impacto: ambiental, al disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero y los residuos plásticos; económico, al mejorar la eficiencia energética y reducir costes operativos; y social, al contribuir a un modelo turístico más responsable y alineado con los valores de los nuevos perfiles de consumidores.

En este contexto, el uso de datos sintéticos podría desempeñar un papel fundamental. Permitiría a Lopesan simular escenarios futuros de ocupación, consumo energético o generación de residuos bajo distintas condiciones climáticas y operativas, así como entrenar modelos predictivos sin comprometer la privacidad de los datos reales de sus clientes. Además, facilitaría la toma de decisiones anticipada en relación con sus objetivos de descarbonización y eficiencia, sin necesidad de recurrir exclusivamente a

entornos reales o experimentales costosos (Zhao, Song & Liu, 2019; Goncalves et al., 2020).

La estrategia de innovación circular de Lopesan Hotel Group, articulada a través del programa “Lopesan for Good” (2024), puede analizarse eficazmente mediante el marco ReSOLVE (Ellen MacArthur Foundation & McKinsey Center for Business and Environment, 2021). En el eje Regenerar, Lopesan apuesta decididamente por las energías renovables, contribuyendo a la reducción de emisiones y al avance hacia la neutralidad climática. En cuanto a Compartir, promueve prácticas de concienciación y sostenibilidad entre clientes y empleados, integrando la dimensión educativa en la experiencia turística. En Optimizar, se observa una fuerte inversión en tecnologías de eficiencia energética y sistemas de gestión ambiental, con un enfoque claro en la reducción del consumo y de residuos.

Respecto al eje Bucle, Lopesan aún tiene margen de mejora en la implementación de sistemas internos de reutilización o reciclaje avanzado, aunque sí trabaja con proveedores que aplican principios circulares. En el ámbito de Virtualizar, la digitalización de procesos como el check-in, la comunicación con el huésped o la gestión energética contribuyen a una operación más desmaterializada y eficiente. Finalmente, en Intercambiar, la sustitución de plásticos de un solo uso por materiales sostenibles y la promoción del consumo de productos de kilómetro cero evidencian su compromiso con la transformación de materiales y cadenas de valor hacia modelos más circulares.

En conjunto, el programa “Lopesan for Good” presenta un alto grado de alineación con los principios ReSOLVE, destacando especialmente en los ejes de Regenerar, Optimizar, Virtualizar e Intercambiar. Su integración en la estrategia corporativa posiciona a Lopesan como un ejemplo relevante de circularidad aplicada al turismo a gran escala.

4.1.3. Accor (Francia) – 2012

Accor, uno de los principales grupos hoteleros a nivel global, lanzó en 2012 el programa “Planet 21”, una estrategia de sostenibilidad orientada a reducir el impacto ambiental de sus operaciones mediante prácticas inspiradas en la EC (Accor, 2025). Este programa incluye 21 compromisos estructurados en torno a áreas clave como el uso eficiente de los recursos, la gestión responsable de residuos, la promoción del consumo local y responsable, y la implicación activa de clientes y empleados en acciones sostenibles.

En el marco del programa, Accor ha implementado medidas como la eliminación progresiva de plásticos de un solo uso, el uso de materiales reciclados y reciclables en la construcción y reforma de establecimientos, y el fomento de alianzas con proveedores locales para reducir la huella de carbono asociada al transporte de mercancías. Además, ha impulsado el uso de tecnologías digitales para el monitoreo del consumo energético y la generación de residuos, facilitando una gestión más eficiente y basada en datos.

Desde la perspectiva del modelo R del marco propuesto por Potting et al. (2017), Planet 21 se sitúa especialmente en los niveles R2 (reducir) y R3 (reutilizar), incorporando acciones dirigidas a evitar el desperdicio desde el diseño de procesos operativos hasta la gestión postconsumo. Este enfoque genera beneficios integrales: ambientalmente, al disminuir emisiones y residuos; económicamente, al reducir costes operativos; y socialmente, al promover la integración de proveedores responsables y la concienciación de los consumidores.

El uso de datos sintéticos sería particularmente valioso para una compañía de la escala de Accor, que opera en múltiples contextos geográficos y regulatorios. Mediante estos datos, la empresa puede simular la implementación de sus estrategias circulares en nuevos destinos, adaptándolas a diferentes perfiles de cliente o condiciones locales, sin necesidad de recopilar datos reales sensibles o esperar largos ciclos de implementación. Asimismo, permite entrenar modelos predictivos capaces de anticipar los impactos de decisiones operativas a gran escala, contribuyendo a una planificación más precisa y sostenible (Zhao, Song & Liu, 2019; Goncalves et al., 2020).

Desde la perspectiva del marco ReSOLVE propuesto por la Fundación Ellen MacArthur, el programa Planet 21 de Accor integra múltiples estrategias propias de la economía circular. En primer lugar, aunque no se centra directamente en la regeneración ecológica, contribuye a ella de forma indirecta mediante la reducción de emisiones y residuos, así como el fomento del consumo local (Regenerate). Promueve la implicación activa de empleados y clientes en prácticas sostenibles, lo que refleja un enfoque colaborativo alineado con el principio de Share. La optimización de recursos es uno de los ejes centrales del programa, con el uso de tecnologías digitales para monitorizar y mejorar la eficiencia energética y de residuos (Optimize). Asimismo, se aplican principios de circularidad mediante la reutilización de materiales, la eliminación de plásticos de un solo uso y el empleo de materiales reciclados y reciclables (Loop). El uso de herramientas digitales para la gestión de operaciones y el análisis de datos supone un claro ejemplo de virtualización de procesos tradicionales (Virtualize), y la sustitución de materiales convencionales y proveedores por alternativas sostenibles refuerza el principio de Exchange. En conjunto, Planet 21 constituye una estrategia integral que incorpora múltiples dimensiones de la economía circular, adaptándolas al contexto operativo global del sector hotelero.

4.2. Evaluación comparativa de los casos para crear la metodología de análisis

Una vez analizados de forma individual los tres casos seleccionados, Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group y Accor, este apartado lleva a cabo una evaluación comparativa estructurada siguiendo la metodología creada en el TFG. Esta comparación sistemática no solo permite extraer aprendizajes, sino que constituye la base fundamental para la construcción de una metodología de análisis replicable, capaz de valorar de forma objetiva el rendimiento económico, ambiental y social de futuras innovaciones.

Durante esta fase comparativa también se pone de manifiesto una de las principales limitaciones que enfrenta actualmente la investigación y la práctica en economía circular: la escasez de datos específicos, completos y estandarizados sobre el impacto real de las innovaciones circulares en las organizaciones. A pesar de tratarse de empresas referentes en sostenibilidad, los casos estudiados presentan importantes carencias en cuanto a la disponibilidad de indicadores cuantitativos o registros sistematizados sobre los resultados económicos, ambientales y sociales de sus iniciativas. Esto hace que varias de las variables no dispongan de datos reales, dificultando el análisis.

Esta falta de información evidencia la dificultad de evaluar de forma rigurosa muchas de estas innovaciones y justifica la necesidad de explorar soluciones alternativas.

4.2.1. Artiem Hotels (Proyecto 8/80)

DIMENSIÓN ECONÓMICA (30 %)

1. Número de innovaciones circulares (últimos 5 años)

Se han llevado a cabo al menos 6 innovaciones significativas (microfiltración, placas solares, triple uso del agua, eliminación de plásticos, reciclaje creativo, domótica) (Artiem Hotels, 2022).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

2. Inversión en innovaciones circulares (últimos 5 años)

Los proyectos realizados por Artiem Hotels, como la instalación de sistemas de aerotermia de alto rendimiento para agua caliente y mejoras de eficiencia energética en tres hoteles de Menorca, implicaron una inversión de 2,5 millones (Última Hora, 2025).

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

3. Generación de nuevos ingresos o valor económico (últimos 5 años)

365.000 € recaudados directamente de dicha innovación circular (Artiem Hotels, 2022).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

Subtotal económico: $1,00 + 0,80 + 1,00 = 2,80 / 3$

Nota redondeada: $9,3 / 10$

DIMENSIÓN AMBIENTAL (40 %)

1. Reducción de residuos generados (últimos 5 años)

60 637 botellas eliminadas, 3 453 kg compostados, 567 kg textiles reciclados, 327 kg plásticos de playa y alianzas con Ocean 52 (Artiem Hotels, 2022).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

2. Reducción de emisiones o huella ecológica (últimos 5 años)

Reducción de 26,3 % desde 2018 = 493,95 toneladas de CO₂ evitadas (Artiem Hotels, 2022).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

3. Ahorro energético y/o hídrico (últimos 5 años)

Reducción del 14 % en electricidad, 25 % en agua, 85 % en gasoil.

Supera el 21 % de ahorro en media (Artiem Hotels, 2022).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

4. Número de R's según el modelo clásico cumple la innovación (últimos 5 años)

La innovación descrita por ARTIEM Hotels cumple las 3 R del modelo clásico (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

Subtotal ambiental: $1,00 + 1,00 + 1,00 + 1 = 4,00 / 4$

Nota redondeada: 10 / 10

DIMENSIÓN SOCIAL (30 %)

1. Porcentaje de empleados locales contratados (últimos 5 años)

No existen datos sobre esta información o no se han podido obtener.

Puntuación: 0

Ponderación: $0 \times 0,10 = 0,00$

2. Participación en iniciativas sociales o comunitarias (últimos 5 años)

En los últimos cinco años, ARTIEM Hotels ha participado activamente en múltiples iniciativas sociales, destacando la "Habitación Solidaria", con más de 300.000€ recaudados para Cáritas. Ha colaborado con ONG como Down Madrid, Ocean 52 y 0 Plastic, realizando campañas de limpieza y donaciones. Su compromiso ha sido reconocido por entidades como CaixaBank y Condé Nast. Estas acciones evidencian una participación continuada en más de cinco

proyectos con impacto real (ARTIEM, 2024; Última Hora, 2024; Condé Nast Traveler, 2025).

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

3. Formación y sensibilización interna (últimos 5 años)

Han llevado a cabo 644 horas de formación en sostenibilidad en los últimos 5 años.

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

Subtotal social: $0,00 + 0,80 + 0,80 = 1,60 / 3$

Nota redondeada: $5,33 / 10$

Nota final de la innovación según la rúbrica de análisis

Suma: Dimensión Económica (9,3) + Dimensión Ambiental (10) + Dimensión Social (5,33)

Nota final → 8,21

4.2.2. Lopesan Hotel Group (Lopesan for Good)

DIMENSIÓN ECONÓMICA (30 %)

1. Número e importancia de innovaciones circulares (últimos 5 años)

Al menos 5 innovaciones significativas: autosuficiencia energética, reducción hídrica, reducción de desperdicio alimentario, producción local, sustitución de plásticos (Biospheretourism, 2024).

Se sitúa en el rango de 3 a 6.

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

2. Inversión en innovaciones circulares (últimos 5 años)

Más de 50.000.000 € invertidos en energías renovables (Arecoa, 2024)

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

3. Generación de nuevos ingresos o valor económico (últimos 5 años)

No existen datos sobre esta información o no se han podido obtener.

Puntuación: 0

Ponderación: $0 \times 0,10 = 0,00$

Subtotal económico: $0,80 + 1,00 + 0,00 = 1,80 / 3$

Nota redondeada: 6,0 / 10

DIMENSIÓN AMBIENTAL (40 %)

1. Reducción de residuos generados (últimos 5 años)

Reducción de más del 50 % de residuos alimentarios (Buffet Waste).

Se estiman más de 5 toneladas evitadas.

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

2. Reducción de emisiones o huella ecológica (últimos 5 años)

13.603 toneladas de CO₂ evitadas en 2023 (Arecoa, 2024).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

3. Ahorro energético y/o hídrico (últimos 5 años)

Reducción del 30 % en huella hídrica en los últimos tres años (Biospheretourism, 2024)

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

4. Número de Rs según el modelo clásico cumple la innovación (últimos 5 años)

El programa “Lopesan for Good” cumple con 1 R clara (Reducir)

Puntuación: 5

Ponderación: $5 \times 0,10 = 0,50$

Subtotal ambiental: $1,00 + 1,00 + 1,00 + 0,50 = 3,50 / 4$

Nota redondeada: $8,75 / 10$

DIMENSIÓN SOCIAL (30 %)

1. Porcentaje de empleados locales contratados (últimos 5 años)

No existen datos sobre esta información o no se han podido obtener.

Puntuación: 0

Ponderación: $0 \times 0,10 = 0,00$

2. Participación en iniciativas sociales o comunitarias (últimos 5 años)

Se incluyen proyectos de apoyo a colectivos vulnerables, donaciones, sensibilización y captación de talento (“Evoción”) como vínculo con la comunidad. Un total de 4 (Lopesan, 2024).

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

3. Formación y sensibilización interna (últimos 5 años)

Disponen de un programa, Evoción, pero no se han puesto en marcha aún, se estiman unas 500 horas en formaciones (Lopesan, 2024)

Puntuación estimada: 5

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

Subtotal social: $0,00 + 0,80 + 0,80 = 1,60 / 3$

Nota redondeada: $5,33 / 10$

Nota final de la innovación según la rúbrica de análisis

Suma: Dimensión Económica (6) + Dimensión Ambiental (8,75) + Dimensión Social (5,3)

Nota final → 6,68

4.2.3. Accor (Planet 21)

DIMENSIÓN ECONÓMICA (30 %)

1. Número e importancia de innovaciones circulares (últimos 5 años)

Al menos 6 innovaciones significativas: autosuficiencia energética, reducción hídrica, reducción de desperdicio alimentario, producción local, sustitución de plásticos.

Se sitúa en el rango de 3 a 6 (Accor, 2018)

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

2. Inversión en innovaciones circulares

Se ha llevado a cabo una inversión en innovaciones circulares de 46,5 millones USD (Accor, 2018).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

3. Generación de nuevos ingresos o valor económico

No existen datos sobre esta información o no se han podido obtener.

Puntuación: 0

Ponderación: $0 \times 0,10 = 0,00$

Subtotal económico: $1,00 + 1,00 + 0,00 = 2,00 / 3$ puntos posibles

Nota redondeada: 6,7 / 10

DIMENSIÓN AMBIENTAL (40 %)

1. Reducción de residuos generados

Eliminación de plásticos de un solo uso en el 84 % de hoteles, y han reportado una estimación razonable de más de 5 toneladas a nivel global (Accor, 2021).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

2. Reducción de emisiones o huella ecológica

Accor tiene como meta alcanzar cero emisiones netas para 2050 y reducir un 46 % para 2030 en todos sus hoteles. En la reforma del Fairmont Royal York se reducen más de 7.000 toneladas anuales de CO₂. Cifra total supera con creces las 300 toneladas (Accor, 2021).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

3. Ahorro energético y/o hídrico

Energía renovable en el 18 % de hoteles.

Recolección de agua de lluvia en el 19 % de hoteles.

Se sitúa entre el 11 % y el 20 % de mejora estimada.

(Trellis, 2018)

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

4. Número de Rs según el modelo clásico cumple la innovación (últimos 5 años)

La innovación descrita por ARTIEM Hotels cumple las 3 R del modelo clásico

(Reducir, Reutilizar y Reciclar).

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

Subtotal ambiental: $1,00 + 1,00 + 0,80 + 1 = 3,80 / 4$

Nota redondeada: 9,5 / 10

DIMENSIÓN SOCIAL (30 %)

1. Porcentaje de empleados locales contratados (últimos 5 años)

No existen datos sobre esta información o no se han podido obtener.

Puntuación: 0

Ponderación: $0 \times 0,10 = 1,00$

2. Participación en iniciativas sociales o comunitarias (últimos 5 años)

4 participaciones de manera intensa, incluye formación de empleados, participación de clientes, reforestación local, jardinería urbana, apoyo a producción local y partnerships (Accor, 2021).

Puntuación: 8

Ponderación: $8 \times 0,10 = 0,80$

3. Formación y sensibilización interna

No se publican cifras exactas de horas, pero se estima más de 1.000 horas globalmente por volumen de hoteles y programas llevados a cabo según el portal de la empresa.

Puntuación: 10

Ponderación: $10 \times 0,10 = 1,00$

Subtotal social: $0,00 + 0,80 + 1,00 = 1,80 / 3$

Nota redondeada: 6 / 10

Nota final de la innovación según la rúbrica de análisis

Suma: Dimensión Económica (6,7) + Dimensión Ambiental (9,5) + Dimensión Social (6)

Nota final → 7,4

4.2.4. Comparación de los casos analizados

DIMENSIÓN ECONÓMICA

1. Artiem (9,3)

Aunque su inversión es menor comparada con Accor o Lopesan, logra destacar por su capacidad de generar nuevos ingresos directos (Hab. Solidaria), aspecto en el que las otras dos cadenas fallan.

2. Accor (6,7)

Obtiene buena nota en número e inversión, pero no presenta datos de ingresos económicos generados.

3. Lopesan (6,0)

Invierte mucho, pero no evidencia retorno económico, lo que penaliza claramente esta dimensión.

DIMENSIÓN AMBIENTAL

1. Artiem (10)

Cumple todos los criterios al máximo nivel (reducción de residuos, emisiones, ahorro energético e hídrico, y las 3 R). Es la única con un 10 perfecto en esta dimensión.

2. Accor (9,5)

También presenta una estrategia ambiental sólida y global, aunque ligeramente penalizada por un ahorro energético estimado más moderado (8/10).

3. Lopesan (8,75)

Obtiene buenas cifras en reducción de residuos y emisiones, pero sólo cumple 1 R, lo que le resta medio punto.

DIMENSIÓN SOCIAL

1. Accor (6)

Puntuación baja pero se consolida como la mejor innovación de las seleccionadas en esta dimensión.

2. ARTIEM (5,33)

Nota baja que empata en la última posición de las innovaciones circulares estudiadas.

3. Lopesan (5,33)

Nota baja que empata en la última posición de las innovaciones circulares estudiadas.

Nota final obtenida

ARTIEM → 8,21 / 10 → La más equilibrada y fuerte de manera media en las tres dimensiones. Especialmente destacable por su enfoque ambiental completo y retorno económico claro. Obtiene el primer puesto pese a una dimensión social por debajo del resto.

ACCOR → 7,4 / 10 → Muy sólida, especialmente en las dimensiones social y ambiental, pero carece de datos económicos sobre ingresos derivados.

LOPESAN → 6,68 / 10 → Buen rendimiento ambiental, pero debilidades significativas en las dimensiones social y económica. Necesita evidenciar impacto económico y fortalecer el vínculo local.

A partir de estos tres análisis de casos se dispone de información para calibrar el modelo de IA y así obtener unas calificaciones de otras innovaciones. Este tipo de análisis comparativo pone de manifiesto una de las principales barreras a las que se enfrenta la investigación en economía circular: la dificultad para recabar datos reales, homogéneos y completos sobre el impacto de las innovaciones en las distintas dimensiones (económica, ambiental y social). Como se observa en los casos analizados, algunas organizaciones no publican información clave, como ingresos derivados de las innovaciones, número exacto de empleados locales o horas de formación, lo que impide aplicar modelos de evaluación cuantitativa sólidos o construir sistemas predictivos fiables basados exclusivamente en datos reales.

Se ha detectado esto como la mayor limitación para poder llevar a cabo herramientas en este ámbito y es que la escasez de datos reales y accesibles sobre innovaciones circulares en el sector hotelero crea un escenario muy complicado, especialmente en lo relativo a variables concretas como inversión, reducción de residuos o impacto social. Esta limitación se hace especialmente evidente en la fase de estudio de los tres casos reales (Artiem, Lopesan y Accor), donde, a pesar de su valor estratégico y ejemplaridad, muchos datos clave no están disponibles públicamente o no han podido ser obtenidos. Ante esta realidad, se recurre al uso de datos sintéticos como una alternativa metodológica. Estos datos, generados a partir de las características observadas en los

casos reales, permiten poblar la matriz de análisis sin comprometer la coherencia estructural del modelo.

Sin embargo, el valor de estos datos sintéticos no reside tanto en su fidelidad empírica, sino en lo que sucede cuando son evaluados por expertos. Al incorporar profesionales con experiencia en sostenibilidad, economía circular y turismo, el modelo deja de centrarse únicamente en el dato numérico y pasa a valorar la interpretación y el juicio profesional que se otorga a esa información. Es decir, la evaluación experta transforma los datos en conocimiento contextualizado y significativo, otorgando una nota que no depende exclusivamente del número, sino de su relevancia, coherencia y potencial impacto.

En esta situación se vuelve fundamental el uso de datos sintéticos como vía complementaria. Aunque en una primera fase puedan parecer menos precisos debido a que se generan a partir de estos casos de estudio, estos datos permiten entrenar modelos de inteligencia artificial, que con el tiempo pueden alcanzar altos niveles de fiabilidad si son validados y ajustados por expertos del sector.

Lo relevante, por tanto, no es únicamente la "calidad bruta" del dato sintético, sino el criterio experto que se aplica al evaluar su coherencia, validez y utilidad predictiva. La combinación entre estos modelos generados y el juicio humano aporta una dimensión enriquecida, capaz de superar la limitación inicial de partida. Así, no solo se logra suplir la falta de datos reales, sino también construir herramientas predictivas sólidas para anticipar el rendimiento futuro de las innovaciones circulares.

4.3. La generación de datos sintéticos

Una vez analizados los casos de estudio, disponemos de una buena base para la calibración del modelo y la posterior generación de datos sintéticos. Como se explica anteriormente, este análisis comparativo detallado de innovaciones circulares se ha llevado a cabo con el objetivo fundamental de establecer una base estructurada y coherente para generar los datos sintéticos, es importante reconocer que la calidad inicial del análisis puede verse condicionada por la escasez de información empírica, lo que conlleva ciertas limitaciones en su precisión. No obstante, la utilidad de los datos

sintéticos no radica únicamente en su origen, sino en el proceso de validación que se aplica posteriormente. Una vez generados, estos datos pueden ser evaluados, filtrados y ajustados por personas expertas, quienes aportan un criterio cualitativo y profesional que les otorga una nueva dimensión de valor. De este modo, lo más relevante no es si los datos son “perfectos” desde el inicio, sino la calidad del marco de análisis y la interpretación especializada que se hace de ellos.

El siguiente paso consiste en crear documentos de simulación (ver en el Anexo 1), que recojan las variables que usaremos como evaluación, generadas a partir de las tres innovaciones reales analizadas previamente. Estos documentos incluirán versiones sintéticas de innovaciones, es decir, conjuntos de datos ficticios pero realistas que describen de forma estructurada el rendimiento económico, ambiental y social de cada caso según las variables definidas (ver en el Anexo 3 los datos sintéticos creados para cada innovación dentro de las 10 variables).

El Anexo 1 y el Anexo 2 son la misma plantilla de evaluación estructurada, creada específicamente para analizar el rendimiento de innovaciones circulares en el sector turístico según criterios económicos, ambientales y sociales. Aunque su estructura es idéntica, cumplen funciones distintas dentro del marco metodológico.

En el Anexo 1 se recoge el formulario que utiliza el modelo de IA basado en GBM para asignar automáticamente una calificación final a cada innovación circular. Esta hoja es rellena inicialmente con datos sintéticos generados por Gretel AI a partir del aprendizaje extraído de tres casos reales analizados en la fase cualitativa (ver Anexo 3). El modelo utiliza estos datos para puntuar cada una de las diez variables definidas, aplicar los pesos correspondientes por dimensión establecidos anteriormente (30 % económica, 40 % ambiental, 30 % social), y calcular una calificación media final para cada innovación simulada.

El Anexo 2, por su parte, es la misma plantilla, pero dirigida a expertos humanos. Estos profesionales reciben los mismos documentos de evaluación con los datos sintéticos (sin conocer la nota generada por el modelo) y, empleando su criterio y experiencia, evalúan manualmente cada variable y asignan una calificación final. Este proceso

constituye la fase de validación del sistema predictivo, permitiendo comparar los resultados del modelo con las valoraciones expertas, y ajustar progresivamente la lógica del sistema mediante aprendizaje supervisado.

El objetivo de estos documentos es permitir que el modelo de IA asigne una puntuación automática a cada innovación, aplicando la estructura creada explícitamente para el modelo. Paralelamente, estos mismos documentos serán analizados por expertos en sostenibilidad, EC y turismo, quienes, utilizando la misma información, pero otorgando su propia valoración según su criterio profesional, sin seguir la estructura del modelo y haciendo que su propia opinión y criterios sean los que marquen la evaluación, pero respetando la hoja de rúbrica para que el modelo pueda comparar las evaluaciones exitosamente.

Este proceso de comparación entre las puntuaciones del modelo y las de los expertos es esencial: cuantos más documentos se validen con la intervención de distintos expertos, mayor será la calidad del modelo. Con cada nuevo documento comparativo, el sistema podrá identificar discrepancias, aprender de los errores y ajustar progresivamente su lógica de análisis.

El modelo no solo afinará las notas asignadas a cada variable, sino que también podrá redefinir el peso de las dimensiones (económica, ambiental y social), modificar el modo de interpretar las variables e incluso revisar las escalas de puntuación empleadas. Todo ello permitirá que el modelo evolucione de forma autónoma hacia un sistema cada vez más preciso, coherente con los criterios humanos y útil para la evaluación real de innovaciones circulares futuras.

La herramienta seleccionada para la generación de datos sintéticos es Gretel AI, una plataforma de alta calidad, que permite replicar las características estadísticas de datos reales sin comprometer información sensible ni depender de históricos limitados. A diferencia de otras soluciones disponibles en el mercado, Gretel AI ofrece una plataforma accesible, segura y centrada en la privacidad, lo que resulta fundamental al trabajar con simulaciones de datos empresariales, incluso aunque no sean reales. Uno de los motivos principales de su elección es su capacidad para generar datos tabulares

estructurados con alto nivel de fidelidad respecto a los patrones del conjunto de datos original. Además, cuenta con funciones avanzadas como control de sesgo, balanceo de variables, anonimización y herramientas de evaluación de calidad de los datos generados, lo que garantiza no solo la verosimilitud de los datos, sino también su utilidad para entrenar modelos de IA como el Gradient Boosting Machine propuesto en este trabajo.

Gretel emplea modelos generativos avanzados, como redes adversarias (GANs) y algoritmos específicos para datos tabulares (como ACTGAN), que aprenden patrones estadísticos complejos a partir de conjuntos reales para generar nuevos registros coherentes y anónimos (Gretel, 2024a). Además, aplica técnicas de privacidad diferencial durante el entrenamiento, lo que garantiza que los datos sintéticos no puedan ser rastreados hasta individuos concretos (Gretel, 2024b). La herramienta evalúa la calidad del conjunto generado mediante el Synthetic Quality Score, que analiza la fidelidad de las distribuciones, la correlación entre variables y la estructura multivariada del dataset original (Gretel, 2024c).

Y como se explicó anteriormente lo relevante no es la "calidad bruta" del dato sintético, sino el criterio experto que se aplica al evaluar su coherencia, validez y utilidad predictiva, ya que esto le dará la veracidad máxima al ser las notas el valor que realmente importa para entrenar y mejorar al modelo.

Otro factor decisivo en su elección ha sido su documentación clara, API accesible y compatibilidad con entornos académicos y de investigación, lo que facilita la integración con flujos de trabajo como el planteado en este TFG.

El proceso comienza una vez definida la estructura de variables del sistema de evaluación (económica, ambiental y social). Los datos obtenidos en los tres casos reales analizados (Artiem, Lopesan y Accor) permiten estructurar el sistema de evaluación en torno a variables económicas, ambientales y sociales, y ofrecen al modelo generador de datos un ejemplo sólido sobre el que aprender. De esta manera, el sistema es capaz de identificar patrones coherentes y reproducibles, generando

nuevos conjuntos de datos sintéticos que simulan posibles escenarios de innovación circular.

Por ello, se entrena al modelo generador para que pueda crear nuevos conjuntos de datos coherentes y verosímiles, que reflejen distintas combinaciones de características posibles en innovaciones futuras. Estos datos completan los documentos de simulación que el modelo de IA analizará y que los expertos validarán.

Aunque en este trabajo se ha optado por Gretel AI por su accesibilidad, seguridad y capacidades avanzadas, la metodología es flexible: la herramienta concreta podrá ser elegida libremente por la empresa que desee implementar esta propuesta, siempre que permita generar datos sintéticos estructurados y reproducibles a partir de una base de casos anteriores. De este modo, se asegura la adaptabilidad del sistema a distintos contextos, necesidades y plataformas tecnológicas.

En el Anexo 1 y 2 se recogen el número de la innovación, el nombre del hotel que la ha implementado y la denominación concreta de la innovación circular analizada. Asimismo, se muestra la primera de las dimensiones evaluadas, la dimensión económica, la cual se compone de tres variables de estudio: el número e importancia de las innovaciones circulares puestas en marcha en los últimos cinco años, la inversión realizada en dichas innovaciones durante ese mismo periodo, y la generación de nuevos ingresos o valor económico atribuible a su implementación. También se aprecia la dimensión ambiental, en primer lugar, está compuesta por cuatro variables de estudio: la reducción de residuos generados en los últimos cinco años, la disminución de emisiones o huella ecológica en ese mismo periodo, el ahorro energético y/o hídrico conseguido, y el nivel de circularidad del modelo implementado. A continuación, se muestra la dimensión social, estructurada en tres variables: el porcentaje de proveedores sostenibles o locales utilizados por la empresa, las certificaciones ambientales o sociales obtenidas en los últimos cinco años, y las acciones de formación y sensibilización interna llevadas a cabo en ese ámbito.

Partiendo de esta estructura de datos, se plantea usar la herramienta propuesta (Gretel AI) para poblar el documento, resultando en la rúbrica final que se facilitará tanto al modelo como a los expertos.

El proceso de generación de datos sintéticos con Gretel AI comienza con la carga y análisis de los datos reales, donde se inspeccionan las variables, tipos de datos y patrones estadísticos. A continuación, se selecciona el modelo generativo más adecuado (como ACTGAN para datos tabulares), que se entrena para aprender las relaciones presentes en el conjunto original. Durante este entrenamiento se aplica privacidad diferencial, garantizando que los datos sintéticos no reproduzcan casos reales. Una vez entrenado, el modelo es evaluado mediante el Synthetic Quality Score, que mide la fidelidad estadística, la coherencia multivariada y la utilidad práctica. Tras superar esta validación, se generan nuevos registros sintéticos que conservan las características esenciales del dataset original, pero sin comprometer la privacidad. Finalmente, los datos pueden exportarse y utilizarse en modelos de IA, simulaciones o análisis exploratorios.

Este TFG propone una metodología para evaluar innovaciones circulares mediante la generación y uso de datos sintéticos, pero no se lleva a cabo la implementación práctica de dicha generación ni la construcción del modelo predictivo en sí. El objetivo principal es diseñar un sistema de análisis riguroso y replicable, establecer los criterios de puntuación y justificar la utilidad de los datos sintéticos como alternativa ante la falta de información real. De este modo, el trabajo sienta las bases teóricas y metodológicas para que, en investigaciones futuras, pueda ejecutarse el proceso completo con herramientas como Gretel AI y aplicarse a modelos de inteligencia artificial.

El Anexo 3 presenta un documento idéntico en estructura a los Anexos 1 y 2, pero con una diferencia fundamental: contiene un ejemplo completo de datos sintéticos ya generados y aplicados. En este anexo, la plantilla ha sido poblada con información simulada para un total de 40 innovaciones circulares, con valores numéricos o categóricos asignados a cada una de las diez variables correspondientes a las dimensiones económica, ambiental y social. Para cada innovación simulada, valores sintéticos generados para las diez variables de análisis (económicas, ambientales y

sociales), todos ellos coherentes con los rangos establecidos en la rúbrica de puntuación. Esta información ha sido creada con herramientas de generación de datos sintéticos (en el caso del TFG, Gretel AI), de modo que se garantiza su realismo sin depender de información sensible o confidencial.

A continuación, se muestra una imagen del Anexo 3 donde se presentan 40 innovaciones circulares completamente sintetizadas a partir de los casos reales analizados. Cada ficha incluye los valores simulados para las diez variables previamente definidas, económicas, ambientales y sociales, y un espacio para la asignación de la nota. Esta tabla sirve como base tanto para el sistema de puntuación automática del modelo GBM como para la evaluación experta independiente, permitiendo contrastar resultados y ajustar el aprendizaje del modelo.

Rellenar por el experto		Económica			Nota Económica
Nº de Innovación	Hotel	Innovación Circular	Número de innovaciones circulares	Inversión en innovaciones	
1	Hotel Circulum	AquaPure360	3	100.000,00 €	50.000,00 €
2	EcoNatura Suites	CeroBotellas	2	50.000,00 €	20.000,00 €
3	VerdeMar Resort	EnerLoop	1	20.000,00 €	10.000,00 €
4	Innova Terra Hotel	EcoSombra	3	100.000,00 €	49.800,00 €
5	Solaris Bay	HueliaZero	2	50.000,00 €	20.000,00 €
6	Loop Inn Menorca	ReValora	1	20.000,00 €	10.000,00 €
7	ReNova EcoHotel	SmartWaste Pro	3	100.000,00 €	50.000,00 €
8	Aura Circular	SaviaLocal	2	50.000,00 €	20.000,00 €
9	Biótica Hotels	CicloLuz	1	20.000,00 €	10.000,00 €
10	ZeroWaste Lodge	GreenCheck-In	6	100.000,00 €	50.000,00 €
11	Ecolux Gran Vía	ReCrea	9	100.000,00 €	50.000,00 €
12	Hotel Reciclo	Cápsula Circular	1	50.000,00 €	150.000,00 €
13	AquaCiclo Resort	EcoBox Meals	4	30.000,00 €	100.000,00 €
14	EcoHaven	GreenStay App	3	20.000,00 €	50.000,00 €
15	Sustaina Stay	Verde+	3	100.000,00 €	50.000,00 €
16	Terranova Inn	BioFresco	2	50.000,00 €	220.000,00 €
17	GreenLoop Hotel	RecicloDecor	1	20.000,00 €	10.000,00 €
18	Viento Norte EcoSuites	EcoPunto	3	100.000,00 €	50.000,00 €
19	Ecolbera	RenovaPack	2	50.000,00 €	20.000,00 €
20	Raiz Hotel Circular	Solar+ Agua	1	20.000,00 €	10.000,00 €
21	BioMar Hotel	EcoRutas Urbanas	7	150.000,00 €	75.000,00 €
22	Horizonte Circular	LoopTextil	3	100.000,00 €	374.000,00 €
23	RenovaLux	ReCafé	3	100.000,00 €	2.200,00 €
24	Hotel EcoCumbre	EcoToken	7	150.000,00 €	120.000,00 €
25	Naturae Hotel	CicloChef	3	100.000,00 €	450.100,00 €

Anexo 3. Plantilla de evaluación de innovaciones circulares con los datos sintéticos ya creados (desarrollo propio).

Estos datos han sido creados mediante la herramienta Gretel AI, utilizando como base de entrenamiento los casos reales analizados previamente (Artiem, Lopesan y Accor), y respetando las características estadísticas esperadas en escenarios realistas. Así, el Anexo 3 sirve como ejemplo ilustrativo y práctico de cómo los datos sintéticos se integran en el sistema, y permite observar cómo se estructura la información que alimenta tanto el modelo predictivo (GBM) como el análisis experto.

Este documento permite:

- Al modelo, aplicar lo aprendido durante el entrenamiento y asignar una puntuación automática a cada innovación basada en los patrones detectados.
- A los expertos, revisar los mismos datos de forma objetiva y emitir una valoración independiente, sin conocer la nota del modelo.

El uso de este anexo facilita un proceso de validación cruzada, en el que las diferencias entre las puntuaciones del modelo y de los expertos se utilizan para ajustar y mejorar progresivamente la precisión del sistema predictivo, garantizando su coherencia con el criterio profesional.

Gracias a esta tabla, se puede comprender cómo cada conjunto de datos permitirá al modelo asignar automáticamente una nota a la innovación, y cómo los expertos podrán revisar esa misma información para emitir su propia valoración. Así, este anexo sirve como ejemplo base para simular múltiples escenarios de evaluación y como soporte esencial para el proceso de aprendizaje y mejora del sistema predictivo propuesto.

4.4. Modelo de IA

Gracias a los anexos de desarrollo propio se puede comprender cómo los datos sintéticos permiten al modelo asignar automáticamente una nota a la innovación, y cómo los expertos podrán revisar esa misma información para emitir su propia valoración.

El modelo propuesto en este TFG genera una nota preliminar para cada innovación circular mediante una fórmula de ponderación objetiva basada en tres dimensiones: económica (30 %), ambiental (40 %) y social (30 %). Cada dimensión se compone de variables cuantificables, evaluadas con baremos cerrados que van de 0 a 10 puntos. La puntuación final se calcula como la suma ponderada de las medias obtenidas en cada dimensión: $\text{Nota total} = (\text{DE} \times 0,30) + (\text{DA} \times 0,40) + (\text{DS} \times 0,30)$. Esta nota representa una estimación inicial generada por el sistema, útil para clasificar innovaciones de forma automatizada y estandarizada.

Una vez creada la nota por el modelo, se realiza una segunda fase de evaluación: expertos en sostenibilidad y EC reciben ese mismo documento con los datos sintéticos, pero sin ver la nota del modelo. Utilizando su propio criterio profesional y la misma rúbrica, los expertos asignan sus propias valoraciones.

El sistema compara entonces las puntuaciones tanto del modelo como las de los expertos. Cuando se detectan diferencias importantes, el modelo ajusta su lógica, cambiando los pesos de las dimensiones, afinando los rangos de puntuación o reinterpretando ciertos patrones. Este proceso se repite con cada nuevo documento, permitiendo al modelo aprender progresivamente de los expertos y aumentar la calidad y coherencia de sus predicciones.

Como modelo se ha seleccionado el GBM, el cual utiliza una secuencia de árboles de decisión que trabajan juntos como si de una cadena de montaje se tratara. El primer árbol genera una predicción básica. Luego, cada árbol posterior se entrena no para repetir esa predicción, sino para corregir el error cometido por los árboles anteriores.

Esta estrategia se llama boosting y es lo que hace tan eficaz al GBM, en lugar de construir un único modelo complejo, combina muchos modelos simples que se especializan en corregir errores previos.

Inicialmente, el modelo se entrena con los datos sintéticos generados a partir de los casos reales analizados (Artiem, Lopesan y Accor). Cada fila del conjunto de datos representa una innovación circular con valores numéricos o categóricos para las 10 variables establecidas (económicas, ambientales y sociales) y su correspondiente nota final como etiqueta objetivo.

Una vez entrenado, el modelo GBM recibe nuevos documentos de evaluación con datos sintéticos (como los del Anexo 2). Tras ello analiza los valores de cada variable y, utilizando lo que ha aprendido de los datos anteriores, asigna una puntuación final estimada a la innovación. Esta puntuación refleja el rendimiento esperado de la innovación circular en un entorno real.

Después de la evaluación del modelo, el mismo documento es revisado por expertos, quienes asignan su propia puntuación a la innovación. Esta comparación entre la predicción del modelo y la valoración experta permite calcular el error. El modelo GBM puede entonces volver a entrenarse incorporando esos ejemplos corregidos, de modo que aprende a imitar mejor el criterio experto con cada nueva validación.

Para lograr que todo este proceso se lleve a cabo con éxito, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Entrenamiento inicial con datos sintéticos

El modelo se entrena utilizando datos sintéticos generados a partir de los casos reales analizados. Cada entrada incluye valores cuantitativos y cualitativos para las 10 variables definidas en las dimensiones económica, ambiental y social, así como una nota final previamente asignada como la etiqueta objetivo. Este paso solo sirve para comenzar a calibrar el modelo, no es obligatorio que los datos sean excesivamente coherentes o reales, con el proceso de aprendizaje irá afinándose cada vez más. De todas maneras, sí se recomienda usar datos de calidad para agilizar el proceso.

2. Creación de los árboles

El primer árbol otorga una predicción inicial y después cada árbol se entrena para predecir el residuo o error cometido por la suma de los árboles anteriores. Es decir, no se repite la predicción, sino que se mejora de manera incremental. Tras la primera predicción se crean varios árboles que se centran en reducir los errores lo máximo posible para que el modelo parta de una buena posición de análisis.

3. Predicción de nuevas innovaciones

Una vez entrenado, el modelo GBM recibe nuevos documentos con datos sintéticos (generados por Gretel AI siguiendo la estructura del Anexo 1). Analiza los valores de las variables y, basándose en lo aprendido, asigna una nota estimada a cada innovación circular. En este paso realiza su primera predicción sobre las innovaciones de manera real, pero aún no está en su máximo potencial, pues todavía no ha podido

comparar su análisis con los agentes externos con más conocimiento que le puedan enseñar y validar.

4. Validación con expertos

De forma paralela, expertos en sostenibilidad revisan esos mismos documentos sin conocer la nota del modelo. Aplican su criterio profesional utilizando la rúbrica definida y asignan una nota independiente.

5. Comparación y aprendizaje

El sistema compara la predicción del modelo con la nota asignada por los expertos. Si se detectan diferencias significativas, se registra el error y se ajusta el modelo: pueden modificarse pesos, límites de puntuación o interpretaciones de los patrones de datos. Se usan los árboles creados en el paso 2 para predecir el residuo o error cometido por la suma de los árboles anteriores y mejorar en cada nueva entrega de información por parte de los expertos.

6. Optimización por descenso del gradiente

En cada iteración, el modelo aplica una técnica de optimización llamada descenso del gradiente, que ajusta los parámetros del modelo en la dirección que reduce el error de predicción. Así, cada nuevo árbol se orienta a minimizar el error global del sistema.

7. Reentrenamiento progresivo

El modelo GBM se reentrena incorporando los nuevos ejemplos corregidos, aprendiendo progresivamente de los expertos y afinando su capacidad predictiva en cada iteración. El modelo es capaz de aprender tanto de las evaluaciones aportadas de los expertos como de las propias evaluaciones anteriores del modelo.

El Anexo 4 muestra el esquema del proceso mencionado anteriormente para entrenar y optimizar el modelo predictivo GBM, basado en datos sintéticos. La imagen recoge cada una de las fases, desde el entrenamiento inicial con datos generados artificialmente, hasta la comparación con las evaluaciones de expertos y el reentrenamiento iterativo del modelo. Esta estructura permite desarrollar un sistema de

predicción ajustado y progresivamente más preciso, que aprende tanto de los datos como del conocimiento experto, garantizando así una evaluación más robusta y fiable de las innovaciones circulares.



Anexo 4. Esquema del proceso de entrenamiento y ajuste del modelo predictivo GBM a partir de datos sintéticos (desarrollo propio).

Se ha diseñado esta metodología siendo la más adecuada para evaluar innovaciones circulares porque combina generación de datos sintéticos, IA y validación experta, resolviendo así uno de los principales desafíos del sector: la escasez de datos reales comparables, además de poder usar un modelo de IA el cual alcanzará el nivel de expertos en la materia gracias a poder aprender de ellos. A partir de casos reales (Artiem, Lopesan y Accor), se generan múltiples escenarios posibles con la herramienta Gretel AI, lo que permite entrenar un modelo GBM que aprende de forma progresiva corrigiendo errores pasados. Al incorporar el juicio de expertos, el sistema mejora continuamente su capacidad predictiva, equilibrando objetividad técnica con

sensibilidad contextual. Así, se crea una herramienta sólida y útil para la toma de decisiones estratégicas en sostenibilidad, capaz de anticipar el impacto de futuras innovaciones circulares.

En este TFG se crea y expone una propuesta metodológica específica para la creación de datos sintéticos con el objetivo de alimentar un modelo de IA capaz de predecir el rendimiento de innovaciones circulares. Es importante señalar que el presente trabajo no desarrolla tecnología propia ni implementa técnicamente el modelo propuesto. Tampoco se lleva a cabo una validación empírica de las herramientas planteadas. El enfoque se limita a formular un marco teórico-práctico que describe cómo debería llevarse a cabo este proceso, recomendando las herramientas más adecuadas según el criterio del autor del TFG, en función de su análisis de capacidades y aplicaciones actuales.

4.5. Proceso Global

Este Trabajo de Fin de Grado propone un proceso estructurado que permite a una empresa evaluar el potencial de una innovación circular antes de su implementación, combinando análisis automatizado mediante inteligencia artificial con validación por parte de expertos. No obstante, es importante aclarar que este trabajo no desarrolla ni entrega una herramienta funcional operativa, ni tampoco ejecuta ni valida experimentalmente el modelo predictivo propuesto. El objetivo principal es establecer las bases teóricas, técnicas y estructurales necesarias para que, en un futuro, esta metodología pueda ser implementada en forma de herramienta digital por parte de investigadores, empresas u organismos interesados.

El flujo completo del proceso se detalla gráficamente en el Anexo 5 y se describe a continuación:

1. Interés

El punto de partida es el interés de una empresa por incorporar prácticas de EC. Esta etapa inicial surge cuando se desea conocer qué tipo de innovación puede aportar un mayor valor desde una perspectiva sostenible, antes de tomar decisiones estratégicas o realizar inversiones.

2. Recabar

La empresa recopila internamente toda la información necesaria sobre la innovación que desea evaluar. Estos datos se organizan en torno a las diez variables establecidas en la metodología del TFG, distribuidas en las tres dimensiones principales: económica, ambiental y social.

3. Rellenar

Con los datos ya recabados, la empresa completa los Anexos 1 y 2. El Anexo 1 y 2 contienen información general del caso, y el Anexo 3 incluye los datos sintéticos que alimentan el modelo predictivo y posteriormente permiten a los expertos evaluar las innovaciones. Esta información es la base sobre la que el sistema genera su primera valoración.

4. Fórmula

El modelo aplica una fórmula previamente definida, que pondera cada dimensión según su peso específico (30 % económico, 40 % ambiental, 30 % social). A través de esta operación matemática, se genera una primera predicción automatizada de la nota que obtendría la innovación.

5. Expertos

En paralelo, se activa una fase de validación cualitativa: un grupo de expertos seleccionados evalúa las mismas innovaciones a través del Anexo 3. Esta evaluación se realiza de manera independiente, sin conocer la nota otorgada por el modelo, con el fin de aportar juicio profesional independiente.

6. Alimentar

Las valoraciones emitidas por los expertos se incorporan al sistema. De este modo, el modelo puede comparar ambas evaluaciones y aprender de las posibles discrepancias, mejorando su capacidad predictiva.

7. Reentrenar

Cuando se detectan diferencias significativas entre la predicción del modelo y la evaluación de los expertos, se aplica un proceso de reentrenamiento mediante algoritmos de aprendizaje automático (Gradient Boosting), ajustando los árboles de decisión para reducir el error.

8. Predicción

El modelo genera una nueva predicción ajustada, tomando como referencia el conocimiento experto. Así, el sistema se vuelve progresivamente más preciso al aprender de cada comparación.

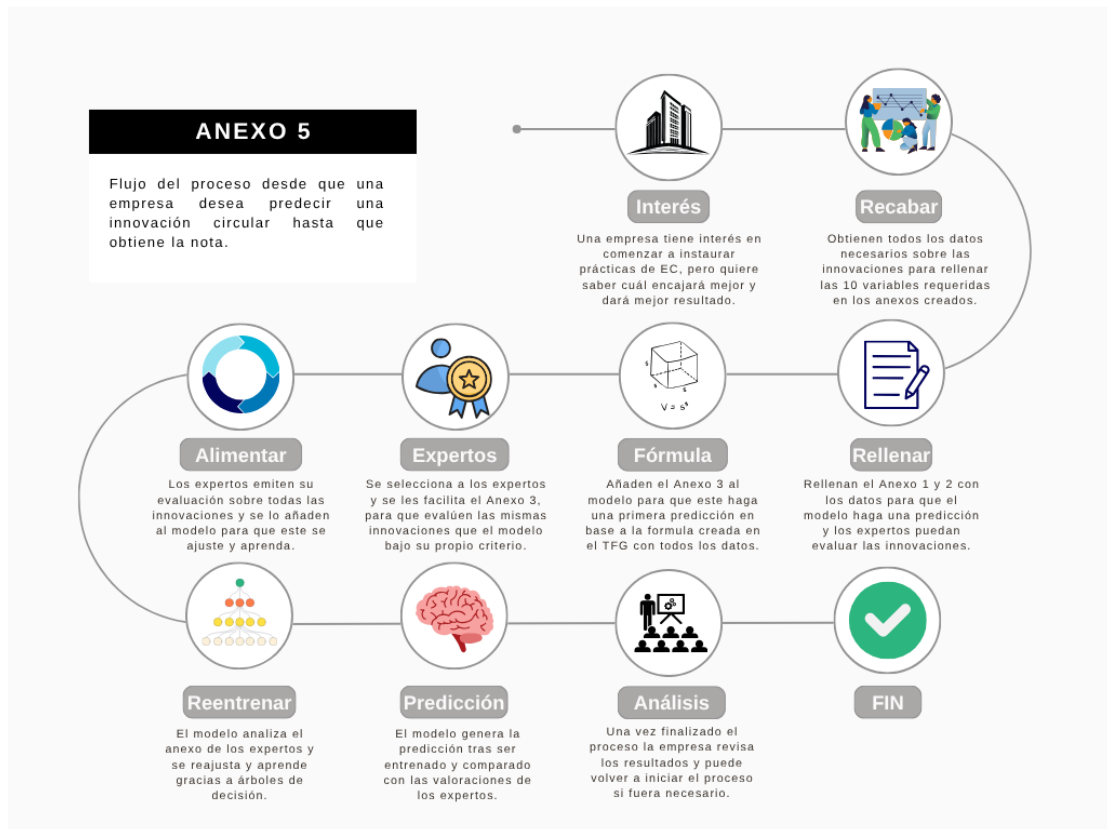
9. Análisis

Finalizado el proceso, la empresa puede acceder al informe de resultados, que incluye la nota final y, si lo desea, realizar nuevas simulaciones para comparar diferentes escenarios de innovación circular o comprobar la evolución del modelo a lo largo del tiempo.

10. Resultado final (FIN)

La empresa obtiene así una evaluación completa de su innovación, basada en criterios objetivos, validados por expertos y reforzada por técnicas de inteligencia artificial. Esta nota final sirve como herramienta de apoyo a la toma de decisiones estratégicas en el marco de la economía circular.

El Anexo 5 muestra el esquema del proceso completo que sigue una empresa desde que manifiesta interés en evaluar una innovación circular hasta que obtiene la nota final. Esta estructura permite combinar el conocimiento interno de la empresa con la capacidad predictiva del sistema, garantizando una evaluación más precisa, dinámica y respaldada por criterios objetivos y profesionales.



Anexo 5. Esquema del proceso completo seguido por una empresa desde que desea evaluar una innovación circular hasta la obtención de la nota final (desarrollo propio).

Una vez entrenado el modelo de inteligencia artificial con datos sintéticos, su función principal ya no requiere continuar generando este tipo de datos. En la práctica, son las propias empresas las que, al aplicar la herramienta, introducen directamente su información real: número de innovaciones, inversiones, impacto ambiental, acciones sociales, entre otros. Estas organizaciones sí disponen internamente de todos los datos necesarios, aunque actualmente muchos de ellos no son públicos o son difíciles de recopilar desde el exterior. El uso inicial de datos sintéticos permite entrenar y validar el modelo en ausencia de información accesible, pero en su fase operativa, el sistema se alimenta exclusivamente de los datos reales proporcionados por las empresas, ofreciendo así predicciones precisas y personalizadas sobre el rendimiento de sus innovaciones circulares.

5. Discusión

La propuesta desarrollada en este TFG se alinea plenamente con la literatura especializada en economía circular, IA aplicada y transformación sostenible del sector turístico. Para empezar el uso del marco ReSOLVE para analizar casos reales responde a las recomendaciones de la Ellen MacArthur Foundation (2013, 2019), al aplicar sus principios a entornos de servicios como el hotelero. Asimismo, autores como Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2016) y Kalmykova et al. (2018) insisten en la necesidad de pasar de la teoría a herramientas prácticas, objetivo que cumple la rúbrica de evaluación multicriterio propuesta, estructurada en dimensiones económica, ambiental y social.

En el marco de la transición hacia paradigmas transformadores, Del Río, et al. (2021) destacan que la economía circular requiere no solo innovación tecnológica, sino también institucional, con nuevas herramientas de evaluación y análisis. En este sentido, la rúbrica multicriterio y el modelo predictivo GBM propuesto representan una innovación metodológica orientada a evaluar y optimizar prácticas circulares en el sector turístico, tal como demandan los organismos internacionales (UNEP, 2021).

A nivel de casos prácticos, la evaluación de Artiem Hotels, Lopesan Hotel Group y Accor pone de relieve tanto el compromiso creciente de algunas organizaciones con la circularidad como las carencias estructurales en cuanto a publicación de datos y trazabilidad. Por ejemplo, en el caso de ARTIEM Hotels, la combinación de datos cuantificables, certificaciones externas (AENOR, 2022) y el reconocimiento como la primera cadena B Corp hotelera europea (Foodies on Menorca, 2025) refuerza la validez del enfoque circular. Lo mismo ocurre con Accor, cuya estrategia Planet 21 refleja una orientación global coherente con lo planteado por Carrillo-Hermosilla et al. (2010) respecto a las eco-innovaciones que juntan sostenibilidad y competitividad.

No obstante, los resultados también evidencian una limitación transversal: la escasez de datos públicos sobre variables clave, especialmente en la dimensión social y económica. Esta carencia coincide con las observaciones de la European Environment Agency (2021, 2023) sobre los vacíos de información en el seguimiento de la economía circular en Europa. Tal limitación justifica plenamente la propuesta de este TFG de

utilizar datos sintéticos como herramienta de apoyo, especialmente en fases tempranas de desarrollo o análisis comparativo. Esta idea está respaldada por estudios como el de CSR Consulting (2022), que destaca el valor de la inteligencia artificial y la simulación como instrumentos para suplir la falta de datos en procesos de innovación sostenible.

En este sentido, el uso de modelos predictivos como el Gradient Boosting Machine (Friedman, 2001), combinado con datos generados por herramientas como Gretel AI, permite avanzar hacia una evaluación más automatizada, escalable y ajustada a contextos reales. Aunque el modelo parte de datos sintéticos, su validación por parte de expertos, siguiendo metodologías comparables a las descritas por Domingos (2012), permite mejorar progresivamente su precisión y fiabilidad. Tal enfoque está en línea con lo que plantean Bocken et al. (2016), quienes defienden la creación de modelos sostenibles apoyados en estructuras adaptativas y basadas en evidencia.

Además, el diseño del sistema predictivo basado en datos sintéticos y el modelo Gradient Boosting Machine se justifica en estudios recientes sobre generación de datos artificiales (Goncalves et al., 2020; IBM, 2023; Microsoft, 2023), que destacan su utilidad para entrenar modelos robustos sin comprometer la privacidad de datos reales. Esta aproximación responde también al enfoque propuesto por McKinsey (2024), que subraya la necesidad de entrenar sistemas de IA con datos diversos y controlados, en línea con las normativas europeas sobre protección de datos (European Commission, 2020).

En el ámbito turístico, el modelo metodológico se vincula con las tendencias descritas por Buhalis y Sinarta (2019), quienes promueven servicios personalizados, basados en el análisis en tiempo real y la co-creación de valor.

Existe una coherencia en el enfoque sistémico de la economía circular y el planteamiento metodológico propuesto en el TFG, ya que coincide con lo defendido por autores como Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2016), quienes explican que la economía circular no debe afrontarse como un conjunto aislado de prácticas, sino como una transformación estructural que requiere la integración de aspectos económicos,

sociales y ambientales. El sistema de evaluación por dimensiones desarrollado refleja justamente esa visión integral con la que se deben analizar las innovaciones.

La selección de variables para las dimensiones de análisis ha sido inspirada en el estudio de Mora-Contreras et al. (2024), que identifica indicadores clave de desempeño en estrategias circulares y recomiendan una evaluación multidimensional y empíricamente validada. El TFG adapta y operacionaliza esas variables para que sean fácilmente medibles en contextos reales o simulados, conectando directamente con los enfoques más recientes sobre eco-innovación.

Uno de los puntos más importantes en todo el TFG son los datos sintéticos y para ello se ha usado literatura reciente como Zhao, Song & Liu, 2019 o Goncalves et al., 2020 para señalar el potencial de los datos sintéticos como alternativa ética y eficiente en contextos donde los datos reales son escasos o sensibles. Este enfoque ha sido propuesto no solo por su uso para entrenar modelos de IA, sino también para compararlos con la evaluación humana y mejorar la precisión del sistema.

En cuanto a la propuesta y uso de IA, más concretamente el modelo Gradient Boosting Machines está respaldado por el trabajo Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009, el cual se centra en la explicación sobre machine learning aplicado a la predicción con variables estructuradas.

El TFG se centra en Europa como punto de estudio, y para ello se basa en fuentes institucionales como el Plan de Acción para la Economía Circular (European Commission, 2020) o la Estrategia Española de Economía Circular (MITECO, 2023), integrando sus prioridades y marcos estratégicos en el diseño del modelo propuesto. Asimismo, el marco general del TFG está alineado con las prioridades señaladas por la Comisión Europea en su “Transition Pathway for Tourism” (European Commission, 2022) y con las recomendaciones del European Environment Agency (2021) y la OCDE (2021) sobre cómo integrar la economía circular en estrategias locales y regionales. Finalmente, este trabajo responde al enfoque regenerativo defendido por Gómez-Vega et al. (2023), al proponer un modelo de evaluación que no solo mide el impacto, sino que promueve transformaciones sistémicas sostenibles y replicables en el tiempo.

Los resultados de este trabajo ponen de relieve la necesidad y viabilidad de construir una herramienta de evaluación basada en IA para valorar el impacto de innovaciones circulares en el sector turístico. Esta necesidad surge no solo por la escasez de datos homogéneos y públicos, como ya han advertido autores como Kirchherr et al. (2017) y Kalmykova et al. (2018), sino también por la creciente presión institucional hacia modelos más sostenibles, como evidencia la estrategia España Circular 2030 (MITECO, 2020) o el ReSOLVE Framework propuesto por la Ellen MacArthur Foundation (2021).

Desde una perspectiva metodológica, la estructura de variables seleccionadas — basada en el trabajo de Mora-Contreras et al. (2024)— permite operacionalizar el concepto de eco-innovación para su análisis empírico y posterior predicción. La fórmula aplicada para la generación de la puntuación base, previa a la validación por expertos, responde a principios de modelos estadísticos y de aprendizaje automático ya contrastados, como el Gradient Boosting (Friedman, 2001; James et al., 2013; Hastie et al., 2009).

Finalmente, la herramienta planteada en este TFG constituye una propuesta inicial que no se implementa ni valida completamente en esta investigación, pero que establece las bases conceptuales y técnicas para su desarrollo futuro. A pesar de partir de datos sintéticos, el sistema puede ofrecer resultados de alta calidad cuando las empresas usuarias introducen sus datos reales, los cuales son desconocidos a nivel público pero sí disponibles internamente. Esto convierte al modelo no en un sustituto, sino en una guía robusta de apoyo a la toma de decisiones basada en evidencia y criterios evaluados por expertos.

6. Conclusiones y limitaciones

Este TFG surge de la necesidad de descubrir nuevas formas de evaluar y predecir el impacto de las innovaciones circulares en el sector terciario, con especial atención al ámbito turístico para poder anticiparlas y decidir en consecuencia. En un contexto marcado por los retos en sostenibilidad y la transformación digital, se planteó como objetivo general analizar cómo la IA, y en particular el uso de modelos predictivos alimentados con datos sintéticos puede contribuir a una evaluación más objetiva, escalable y útil de dichas innovaciones antes incluso de ponerlas en marcha.

A través de una metodología mixta, se combina el estudio cualitativo de tres casos reales con una fase cuantitativa basada en la generación de datos sintéticos mediante Gretel AI y el entrenamiento de un modelo GBM para predecir el rendimiento de las innovaciones analizadas. El sistema de evaluación se estructuró en torno a una rúbrica compuesta por diez variables agrupadas en tres dimensiones: económica, ambiental y social como se puede apreciar en el Anexo 1, rúbrica del modelo, y Anexo 2, rúbrica de los expertos.

Los resultados obtenidos a través del sistema de evaluación propuesto en este trabajo buscan responder a la pregunta formulada en la introducción ¿Es posible diseñar una metodología basada en el uso de datos sintéticos e IA que permita predecir, evaluar y comparar el rendimiento económico, ambiental y social de las innovaciones circulares en el turismo, y que además pueda mejorar su capacidad de análisis mediante la validación de expertos?

Los resultados obtenidos demuestran que el enfoque propuesto no solo aporta una metodología capaz de generar valoraciones automáticas coherentes gracias a un modelo de IA sino que además facilita la simulación de escenarios hipotéticos que serían difíciles de analizar únicamente con datos reales.

Una de las principales limitaciones del presente TFG es que no se ha llevado a cabo una validación empírica del marco teórico propuesto. Aunque se ha diseñado una metodología estructurada, fundamentada en fuentes académicas y técnicas contrastadas, y se han aplicado los criterios de evaluación a casos reales como ejercicio

teórico, no se ha probado formalmente su validez mediante un proceso de implementación práctica o contrastación con resultados reales de empresas.

Esto significa que, si bien el modelo presenta coherencia interna y está respaldado conceptualmente, aún no ha sido verificado en contextos reales con participación directa de empresas evaluadoras o validadores externos. De este modo, los resultados obtenidos deben interpretarse como una simulación estructurada y no como una validación definitiva del modelo propuesto. Esta circunstancia abre una línea clara para investigaciones futuras, en las que se podría aplicar la metodología a un conjunto más amplio de casos reales con validación cruzada por expertos del sector.

Otra limitación relevante del TFG es que, aunque la fórmula inicial de análisis propuesta cuenta con una estructura clara y coherente, y está inspirada en antecedentes académicos sólidos, la asignación de pesos específicos a cada dimensión (económica, ambiental y social) ha sido determinada por el propio autor del trabajo. Esta decisión se ha tomado en base a una revisión crítica de estudios previos y con la intención de reflejar un equilibrio representativo de los impactos de la economía circular en el contexto turístico.

Sin embargo, la ponderación final (30 % económico, 40 % ambiental y 30 % social) responde a un criterio interpretativo personal y no a un consenso científico validado o un proceso participativo de expertos. A pesar de ello, se ha buscado justificar dicha decisión mediante referencias relevantes y ejemplos similares en la literatura (Mora-Contreras et al., 2024; Ellen MacArthur Foundation, 2019), lo que confirma su plausibilidad, aunque no su objetividad absoluta. Esta limitación sugiere que futuras aplicaciones del modelo podrían beneficiarse de un proceso de ajuste colectivo o empírico de los pesos, adaptado a contextos específicos.

Otra limitación destacable del TFG es la escasez de casos reales suficientemente completos que permitan llevar a cabo un análisis eficiente y exhaustivo. A pesar de que se han seleccionado ejemplos representativos del sector hotelero, no todas las variables definidas en el marco metodológico disponen de datos públicos o accesibles, lo que ha dificultado la evaluación integral de las innovaciones circulares.

Esta falta de información afecta directamente a la calidad de la generación de datos sintéticos, ya que dichos datos dependen en gran medida de los valores reales aportados como base para el entrenamiento inicial del modelo.

La metodología está diseñada específicamente para empresas turísticas de tamaño medio o grande, ya que son las que ofrecen más información pública y tienen más capacidad de innovar. Esto limita su aplicabilidad directa a otros sectores o a pymes, a menos que se adapte el modelo a sus características y escalas, aunque limitada, obtendría el mismo nivel de eficiencia si se disponen de los datos suficientes. Estas organizaciones son, en general, las que disponen de mayores recursos, personal cualificado y capacidad operativa para implementar innovaciones circulares de manera planificada y sostenible. Además, son también las que suelen publicar más información en informes de sostenibilidad o memoria de actividades, lo que facilita el análisis riguroso de sus prácticas y resultados. No obstante, aunque la aplicabilidad del modelo está limitada en principio a este tipo de organizaciones, su estructura es adaptable. Si se dispone de datos suficientes y fiables, el modelo podría aplicarse también en el contexto de las pymes, ofreciendo un nivel similar de eficiencia en el análisis y predicción del rendimiento de sus innovaciones. Esta flexibilidad metodológica permite extender el enfoque a otros entornos empresariales, siempre que se garantice la disponibilidad mínima de información clave.

La última limitación relevante del trabajo es el reducido número de casos de estudio seleccionados para alimentar el modelo con datos reales iniciales. En un escenario ideal, una mayor diversidad y cantidad de casos permitiría generar datos sintéticos más robustos y representativos, al abarcar un espectro más amplio de situaciones y comportamientos dentro del sector hotelero.

No obstante, esta decisión metodológica se justifica por las características y alcance del TFG, cuyo objetivo no es desarrollar un modelo predictivo plenamente operativo, sino proponer y fundamentar una metodología de análisis y generación de datos sintéticos aplicable en contextos reales. Además, el modelo propuesto no se basa exclusivamente en los datos reales disponibles, sino que se apoya en la intervención directa de expertos, quienes asignan las puntuaciones a las innovaciones circulares en

función de los valores sintéticos. En este sentido, la información relevante para el aprendizaje del modelo no reside tanto en la cantidad de casos de partida como en la calidad del juicio experto que los valida, lo que reduce la necesidad de contar con un volumen elevado de datos reales en esta fase inicial.

En términos prácticos, este trabajo aporta una metodología adaptable para la evaluación y predicción de innovaciones circulares que puede ser utilizada por empresas turísticas, consultoras o administraciones públicas interesadas en medir avances en sostenibilidad sin comprometer datos sensibles. Además, promueve el uso responsable de la IA en el marco de una economía circular más digital y transparente. Esto hace que pueda ser usado bajo cualquier complicación, no resultando un problema la falta de datos reales.

La decisión de no llevar a cabo la implementación ni la demostración real del modelo predictivo propuesto responde al enfoque inicial del trabajo, que no pretendía desarrollar una herramienta técnica completa, sino más bien establecer una metodología clara, fundamentada y replicable que permita a las empresas evaluar y predecir el impacto de sus innovaciones circulares a partir de datos estructurados.

El objetivo principal ha sido proporcionar a las organizaciones un marco práctico y accesible, sustentado en la literatura académica y en criterios expertos, que les permita, con los recursos adecuados, aplicar esta metodología dentro de sus propios entornos. De este modo, son las propias empresas, que disponen del conocimiento interno y de los datos relevantes las que asumen el papel central en el uso y validación de la propuesta, adaptándola a su realidad. Así, se busca fomentar una autonomía metodológica, en la que las compañías puedan valorar el rendimiento de sus innovaciones de manera predictiva sin depender de desarrollos externos o herramientas cerradas.

La falta de datos reales constituye, al mismo tiempo, una limitación, un reto y una oportunidad clave dentro del presente Trabajo de Fin de Grado. Por un lado, esta carencia dificulta la construcción de modelos predictivos de alta precisión, ya que los datos sintéticos, generados a partir de muestras incompletas o fragmentadas,

dependen en gran medida de la calidad de los datos reales disponibles inicialmente. Esto afecta especialmente a la fase de entrenamiento del modelo, que requiere patrones consistentes y representativos para obtener predicciones fiables.

Sin embargo, esta limitación se convierte también en una oportunidad de innovación metodológica. El TFG aporta una solución práctica al proponer una estructura clara y replicable para generar datos sintéticos, que posteriormente son validados por expertos del sector, dotando así a esos datos de un valor añadido cualitativo. Esta combinación entre generación automática de datos y evaluación experta permite superar, en parte, las deficiencias de los datos originales y confiere veracidad, legitimidad y utilidad real al modelo de análisis.

Es importante destacar la creación de una propuesta metodológica innovadora y replicable que dota a las empresas de una nueva manera de evaluar las innovaciones de forma autónoma, idéntica y comparable. Se presenta una solución novedosa al problema de la escasez o sensibilidad de datos reales, mediante el uso de datos sintéticos generados con herramientas avanzadas, lo que permite entrenar modelos sin comprometer la privacidad ni la fiabilidad. El sistema propuesto no solo automatiza la evaluación, sino que permite comparar los resultados del modelo con valoraciones expertas, mejorando su precisión a lo largo del tiempo mediante aprendizaje supervisado. Lo que sumado a un sistema de evaluación (basado en 5, 8 y 10 puntos) permite adaptar la evaluación al grado de avance y madurez de las innovaciones sin perder objetividad, y puede ajustarse fácilmente a otros contextos.

Gracias a todo ello esta novedosa solución crea una nueva manera de predecir situaciones antes de que se lleven a cabo, usando la generación de datos sintéticos y la IA para evaluar y comparar el rendimiento económico, ambiental y social de las innovaciones circulares en el turismo, y que además pueda mejorar su capacidad de análisis mediante la validación de expertos.

7. Bibliografía

Accor. (2025). Planet 21: Act for positive hospitality.

<https://group.accor.com/en/Actualites/2021/04/world-earth-day>

AENOR. (2022). Artiem, primera cadena hotelera en obtener el certificado de Estrategia de Economía Circular. <https://revista.aenor.com/384/artiem-hotels-certifica-su-estrategia-de-economia-circular.html>

Amazon Web Services. (2024). Synthetic data generation with AWS.

<https://aws.amazon.com/what-is/synthetic-data/>

Amazon Web Services (AWS). (2024). ¿Cómo se generan los datos sintéticos? [Figura 3]. En ¿Qué son los datos sintéticos? <https://aws.amazon.com/es/what-is/synthetic-data/>

BOE. (2022). Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>

BOE. (2022). Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/27/1055>

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2016). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>

Buhalis, D., & Sinarta, Y. (2019). Real-time co-creation and oneness service: Lessons from tourism and hospitality. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 36(5), 563–582. <https://doi.org/10.1080/10548408.2019.1592059>

Cadena SER. (2024). Global Omnium usa IA para prever producción energética y residuos
<https://cadenaser.com/comunitat-valenciana/2024/10/28/global-omnium-emplea-inteligencia-artificial-para-promover-practicas-responsables-a-favor-del-medio-ambiente-y-la-economia-circular-radio-valencia/>

Cadena SER. (2025a). Lopesan presenta sus iniciativas sostenibles en FITUR 2025.
<https://cadenaser.com/canarias/2025/01/26/el-desarrollo-sostenible-y-las-politicas-verdes-lideradas-por-lopesan-hotel-group-son-premiadas-en-fitur-ser-las-palmas/>

Cadena SER. (2025b). ¿Hasta cuándo? La cultura convertida en souvenir: el caso de Tenerife.
<https://cadenaser.com/canarias/2025/03/12/tenerife-se-vende-en-frasquitos-el-indignante-souvenir-turistico-que-caricaturiza-a-canarias-radio-club-tenerife/>

Cadena SER. (2025). Palma de Mallorca limita cruceros a tres diarios y en Canarias surgen movimientos sociales contra la turistificación.
<https://cadenaser.com/baleares/2025/05/12/mes-per-palma-propone-limitar-a-dos-los-cruceros-diarios-con-un-maximo-de-6000-pasajeros-radio-mallorca/>

Campus France. (2024). Francia atrajo a más de 100 millones de turistas internacionales, generando ingresos de 71 000 millones de euros.
<https://www.campusfrance.org/es/actu/2024-annee-record-pour-le-tourisme-international-en-france>

Carrillo-Hermosilla, J., del Río, P., & Könnölä, T. (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, 18(10–11), 1073–1083.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.014>

CSR Consulting. (2022). La inteligencia artificial como herramienta para la sostenibilidad
<https://www.csrconsulting.com.mx/noticias-ecologicas/blog-google-y-la-revolucion-verde-como-la-ia-lidera-la-lucha-contr-el-cambio-climatico/>

del Río, P., Kiefer, C. P., Carrillo-Hermosilla, J., & Könnölä, T. (2021). *The circular economy: Economic, managerial and policy implications*. Springer.

Domingos, P. (2012). A few useful things to know about machine learning. *Communications of the ACM*, 55(10), 78–87. <https://doi.org/10.1145/2347736.2347755>

El Orden Mundial. (2021). EuroAdvisor: las ciudades más visitadas de Europa [Figura 5]. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/ciudades-mas-visitadas-europa/>

El País. (2025). España abre la puerta a nuevas minas para asegurar materias primas clave. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-03-11/el-gobierno-lanza-un-plan-de-accion-que-impulsa-la-mineria-de-materiales-estrategicos-en-suelo-espanol.html>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy: An economic and business rationale for an accelerated transition. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

Ellen MacArthur Foundation. (2019). Artificial intelligence and the circular economy <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>

Ellen MacArthur Foundation. (2021). Circular economy system diagram [Figura 1] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

Ellen MacArthur Foundation. (s.f.). What is a circular economy? <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

European Commission. (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>

European Commission. (2019). The European Green Deal. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>

European Commission. (2020). A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>

European Commission. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Data protection rules as a trust-enabler in the EU and beyond. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0374>

European Commission. (2021a). Global Alliance on Circular Economy and Resource Efficiency (GACERE). https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/global-alliance-circular-economy-and-resource-efficiency-gacere_en

European Commission. (2022). Transition pathway for tourism. https://transport.ec.europa.eu/tourism/overview-eu-tourism-policy_en#:~:text=On%204%20February%202022%2C%20the,the%20resilience%20of%20EU%20tourism.

European Commission. (2022a). Circular Economy initiatives: Sustainable products, textiles, and construction. https://environment.ec.europa.eu/publications/circular-economy-package-2022_en

European Commission. (2023a). Right to repair: Legislative proposal. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2015

European Commission. (2023b). Monitoring framework for the circular economy: Review. https://environment.ec.europa.eu/news/review-eu-circular-economy-monitoring-framework-2023-05-17_en

European Environment Agency. (2021). Circular economy and the environment — Europe's choices. EEA Report No 18/2021. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy>

European Environment Agency. (2021). EEA 2021: The year in brief [Informe]. <https://doi.org/10.2800/01564>

European Environment Agency (EEA). (2023). Turismo intensivo y sus efectos ambientales: emisiones de CO₂, consumo de recursos y pérdida de biodiversidad. <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/la-mejora-de-la-calidad>

- European Parliament and Council. (2008). Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Foodies on Menorca. (2025). Artiem, la cadena menorquina que transforma jabones usados en arte local. <https://www.foodiesonmenorca.com/es/blog/artiem-hotels-ha-sido-galardonado-con-el-premio-a-la-sostenibilidad-2024-2595/>
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Fussler, C., & James, P. (1996). *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*. Pitman Publishing.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Global Reporting Initiative. (s.f.). GRI Standards. <https://www.globalreporting.org/standards/>
- Gómez-Vega, M., Pérez-Rodríguez, F., & Morales, R. (2023). Turismo regenerativo: De la sostenibilidad a la restauración del entorno. *Revista de Estudios Turísticos*, 217, 105–123.
- Goncalves, A. R., Ray, P., Soper, B., Stevens, J., Coyle, L., & Sales, A. P. (2020). Generation and evaluation of synthetic patient data. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12874-020-00977-1>

- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). Springer. <https://web.stanford.edu/~hastie/ElemStatLearn/>
- IBM. (2023). What is synthetic data? <https://www.ibm.com/topics/synthetic-data>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2024a). Cuenta satélite del turismo de España. Año 2023. https://www.ine.es/prensa/cste_2023.pdf
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2024b). Estadística de movimientos turísticos en fronteras (Frontur). Año 2023. <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/FRONTUR1224.htm>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning: With applications in R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Circular economy: From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kiefer, C. P., del Río, P., & Carrillo-Hermosilla, J. (2021). On the contribution of eco-innovation features to a circular economy: A microlevel quantitative approach. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2222–2235. <https://doi.org/10.1002/bse.2688>
- Kiefer, C. P., del Río González, P., & Carrillo-Hermosilla, J. (2019). Drivers and barriers of eco-innovation types for sustainable transitions: A quantitative perspective. *Business Strategy and the Environment*, 28(1), 155–172. <https://doi.org/10.1002/bse.2246>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Lenzen, M., Sun, Y. Y., Faturay, F., Ting, Y. P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 522–528. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>

McKinsey & Company. (2024). The state of AI in 2024: Generative AI's breakout year. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-2024>

Medium (2024, abril 21). Gradient Boosting Machines: Power in Ensembles [Figura 2]. <https://medium.com/@bengisuyapar/gradient-boosting-machines-power-in-ensembles-ee58689d9d90>

Microsoft. (2023). Synthetic data for responsible AI. <https://www.microsoft.com/en-us/research/blog/the-crossroads-of-innovation-and-privacy-private-synthetic-data-for-generative-ai/>

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINTUR). (2025). España cerró 2024 con 93,8 millones de visitantes y un gasto turístico de 126 000 millones de euros. <https://www.mintur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2025/paginas/turismo-frontur-egatur-diciembre-2024.aspx>

MITECO. (2020). España Circular 2030: Estrategia Española de Economía Circular. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>

MITECO. (2021). I Plan de Acción de Economía Circular 2021–2023. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/pp-residuos-2021-plan-de-accion-de-economia-circular-2021-2023.html>

MITECO. (2024). Proceso participativo para el diseño del II Plan de Acción de Economía Circular 2024–2026. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/ii-plan-de-accion-de-economia-circular.html>

Mora-Contreras, R., Carrillo-Hermosilla, J., Hernández-Salazar, G., Torres-Guevara, L. E., Mejía-Villa, A., & Ormazabal, M. (2024). Eco-innovation for circular economy and sustainability performance: Insights and evidence from manufacturing firms. *Business*

Mora-Contreras, R., Zayas, L. J., Cabrera, R., & Díaz, R. (2024). Eco-innovation for circular economy and sustainability performance: Insights and evidence from manufacturing firms. *Business Strategy and the Environment*, 33(1), 112–131.

Nexotur. (2024). Gasto turístico en Europa Occidental alcanzó 719 700 millones de euros en 2024.

<https://www.nexotur.com/noticia/124988/nexotur/el-gasto-turistico-en-europa-alcanzara-los-719.700-millones-de-euros-en-2024.html>

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). OECD Tourism Trends and Policies 2020: Chapter 3 – Towards a green and sustainable tourism economy obtenido de <https://www.oecd.org/environment/towards-green-and-sustainable-tourism.pdf>

Organización Mundial del Turismo (OMT). (2021). International tourism highlights: 2021 edition. <https://www.unwto.org/international-tourism-highlights>

Organización Mundial del Turismo (OMT). (2024). Importaciones internacionales de turismo aumentaron un 96 % respecto a niveles previos a la pandemia. <https://www.unwto.org/es/news/julio-2024-las-llegadas-de-turistas-internacionales-alcanzaron-el-96-de-los-niveles-registrados-antes-de-la-pandemia#:~:text=En%20julio%20de%202024%2C%20el,en%20Asia%20y%20el%20Pac%C3%ADfico.>

Parlamento Europeo. (2023). El modelo de economía circular: menos materias primas, menos residuos, menos emisiones (Figura 4). Recuperado de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

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

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

Parlamento Europeo. (2024). El turismo en Europa representa aproximadamente el 10 % del PIB y genera millones de empleos.

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL).

<https://www.pbl.nl/en/publications/circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains>

Raworth, K. (2017). Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist. Chelsea Green Publishing.

Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0?—Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>

Reuters. (2024, noviembre 20). More than 50 countries sign UN sustainable tourism declaration. Reuters. <https://www.reuters.com/sustainability/more-than-50-countries-sign-un-sustainable-tourism-declaration-2024-11-20/>

Revista Byte. (2024). Modelos predictivos para reducir residuos en la construcción. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://revistabyte.es/wp-content/uploads/2024/10/Revista-Byte-TI-330.-Octubre-2024.pdf>

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson.

Shaip. (2023). What is synthetic data? Benefits, types, and use cases. <https://www.shaip.com/blog/synthetic-data-and-ai/>

- Siddik, A. B., Forid, M. S., Yong, L., Du, A. M., & Goodell, J. W. (2025). Artificial intelligence as a catalyst for sustainable tourism growth and economic cycles. *Technological Forecasting and Social Change*, 210, 123875. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123875>
- Statista. (2024). Artificial intelligence (AI) market revenue worldwide from 2018 to 2027. <https://www.statista.com/statistics/941835/worldwide-artificial-intelligence-market-revenues/>
- Statista. (2024). Tourism industry: Global economic impact 2022. <https://www.statista.com/statistics/1102073/global-economic-impact-of-tourism/>
- Strauss, A. L. (1987). *Qualitative analysis for social scientists*. Cambridge University Press.
- Testa, F., Iovino, R., & Iraldo, F. (2020). The circular economy and consumer behaviour: The mediating role of information seeking in buying circular packaging. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3435–3448. <https://doi.org/10.1002/bse.2586>
- United Nations Environment Programme. (2021). [Reporte sobre turismo regenerativo]. <https://marfund.org/en/wp-content/uploads/2021/10/TOF-UNEP-CEP-Report-February-2021.pdf>
- UNWTO. (2023). International tourism highlights. Organización Mundial del Turismo. <https://www.unwto.org/es/world-tourism-day-2023>
- World Travel & Tourism Council. (2024). *Travel & Tourism Economic Impact 2024: Global Trends [Informe]*. WTTC. <https://wtcc.org/research/economic-impact>
- Xu, M., Cui, Y., Hu, M., Xu, X., Zhang, Z., Liang, S., & Qu, S. (2019). Supply chain sustainability risk and assessment. *Journal of Cleaner Production*, 225, 857–867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.307>
- Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593–602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>

Anexo 3. Plantilla de evaluación rellena con datos sintéticos (desarrollo propio).

Este anexo contiene la plantilla estructurada que emplea el modelo predictivo GBM para analizar innovaciones circulares a partir de los datos introducidos y los expertos para evaluar las innovaciones. En ella se recogen las diez variables que conforman las tres dimensiones clave (económica, ambiental y social) y su correspondiente información generada gracias a los datos sintéticos.

Datos de entrada		Datos de salida		Datos de entrada		Datos de salida		Datos de entrada		Datos de salida	
ID	Nombre	Valor	Unidad	ID	Nombre	Valor	Unidad	ID	Nombre	Valor	Unidad
1	Actividad	1000000000	€	1	Actividad	1000000000	€	1	Actividad	1000000000	€
2	Actividad	1000000000	€	2	Actividad	1000000000	€	2	Actividad	1000000000	€
3	Actividad	1000000000	€	3	Actividad	1000000000	€	3	Actividad	1000000000	€
4	Actividad	1000000000	€	4	Actividad	1000000000	€	4	Actividad	1000000000	€
5	Actividad	1000000000	€	5	Actividad	1000000000	€	5	Actividad	1000000000	€
6	Actividad	1000000000	€	6	Actividad	1000000000	€	6	Actividad	1000000000	€
7	Actividad	1000000000	€	7	Actividad	1000000000	€	7	Actividad	1000000000	€
8	Actividad	1000000000	€	8	Actividad	1000000000	€	8	Actividad	1000000000	€
9	Actividad	1000000000	€	9	Actividad	1000000000	€	9	Actividad	1000000000	€
10	Actividad	1000000000	€	10	Actividad	1000000000	€	10	Actividad	1000000000	€

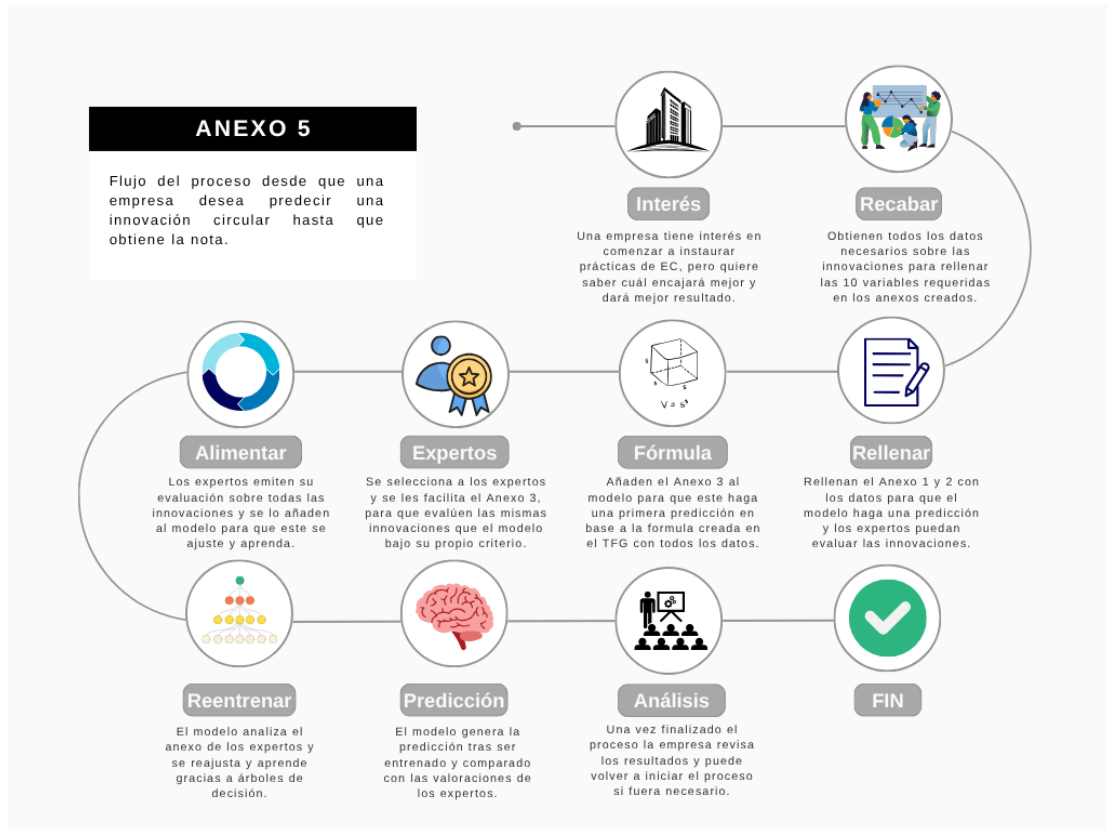
Anexo 4. Esquema del proceso de entrenamiento y ajuste del modelo predictivo GBM a partir de datos sintéticos (desarrollo propio).

Este anexo ilustra de forma visual y secuencial las etapas seguidas para la construcción y entrenamiento del modelo predictivo basado en Gradient Boosting Machine (GBM).



Anexo 5. Esquema del proceso completo seguido por una empresa desde que desea evaluar una innovación circular hasta la obtención de la nota final (desarrollo propio).

Este anexo representa de forma esquemática el recorrido completo que sigue una empresa desde que manifiesta interés en evaluar una innovación circular hasta que obtiene la nota final. Esta estructura permite combinar el conocimiento interno de la empresa con la capacidad predictiva del sistema, garantizando una evaluación más precisa, dinámica y respaldada por criterios objetivos y profesionales.



DOCUMENTOS DE TRABAJO

La serie Documentos de Trabajo que edita la Cátedra de Responsabilidad Social Corporativa de la UAH, incluye avances y resultados de los trabajos de investigación realizados como parte de los programas y proyectos de la Cátedra y por colaboradores de la misma.

Los Documentos de Trabajo se encuentran disponibles en internet

<http://crsc.uah.es>

ISSN: 2530-1292

Universidad
de AlcaláCÁTEDRA DE RESPONSABILIDAD
SOCIAL CORPORATIVA
UAH - SANTANDER

Facultad de Ciencias Económicas, Empresariales y Turismo. Plaza de la Victoria, 2. 28802.
Alcalá de Henares. Madrid - Telf. (34)918855187. E-Mail: catedra.rsc@uah.es

CÁTEDRA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA

DIRECTORA

Dra. Dña. Elena Mañas Alcón

Profesora Titular de Universidad, Universidad de Alcalá