



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola Politècnica Superior d'Edificació  
de Barcelona

# GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA Y EDIFICACIÓN

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

### ANÁLISIS DE SISTEMAS E INSTALACIONES EN TORNO A LA ARQUITECTURA REGENERATIVA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES

**Autor:** Sebastián Christen Marote

**Director:** Licinio José Alfaro Garrido

**Convocatoria:** enero 2023



## Resumen

La tesis tiene como objetivo investigar y abordar el impacto ambiental de la industria de la construcción, y proporcionar un enfoque claro y práctico para reducir el impacto ambiental de los proyectos de construcción y contribuir a la sostenibilidad de la industria. La investigación incluirá la creación de una base de datos flexible y precisa para procesar datos sobre los elementos constitutivos de un proyecto de construcción, incluyendo información sobre los materiales utilizados en la construcción, su origen, transporte e impacto ambiental. Estos datos se utilizarán para realizar un análisis dinámico de los proyectos de construcción y evaluar su impacto en la sostenibilidad, incluida la huella de carbono, la eficiencia energética y su impacto en el medio ambiente. Basándose en el análisis, la tesis sugerirá el uso de materiales de construcción más sostenibles para reducir el impacto ambiental del proyecto, y comparará el proyecto inicial con el optimizado a través de una representación visual intuitiva. La investigación se llevará a cabo utilizando las metodologías más actualizadas y avanzadas, como la evaluación del ciclo de vida, el análisis del impacto ambiental y los algoritmos de optimización. Los resultados se presentarán de manera completa y fácil de entender, lo que permitirá a los profesionales y las partes interesadas implementar los resultados y mejorar la sostenibilidad de la industria de la construcción.

## Abstract

The thesis aims to investigate and address the environmental impact of the construction industry, and provide a clear and practical approach to reduce the environmental impact of construction projects and contribute to the sustainability of the industry. The research will include the creation of a flexible and accurate database to process data on the constituent elements of a construction project, including information on materials used in construction, their origin, transport and environmental impact. These data will be used to conduct a dynamic analysis of construction projects and assess their impact on sustainability, including carbon footprint, energy efficiency and their impact on the environment. Based on the analysis, the thesis will suggest the use of more sustainable building materials to reduce the environmental impact of the project, and compare the initial project with the optimized one through an intuitive visual representation. The research will be carried out using the most up-to-date and advanced methodologies, such as life cycle assessment, environmental impact analysis and optimization algorithms. The results will be presented in a comprehensive and easy-to-understand way, allowing professionals and stakeholders to implement the results and improve the sustainability of the construction industry.

# Índice

---

|   |    |
|---|----|
| Resumen .....   | 1  |
| Abstract .....  | 1  |
| Glosario .....  | 4  |
| Abreviaturas .....  | 4  |
| 1. Introducción .....                                       | 5  |
| 2. Contexto .....   | 6  |
| 2.1 Crisis ambiental global .....                           | 6  |
| 2.2 Impacto de la construcción .....                        | 6  |
| 2.3 Estrategias hacia la sostenibilidad .....               | 7  |
| 2.4. Alternativas .....                                     | 9  |
| 2.5. Estado del arte .....                                  | 11 |
| 3. Antecedentes .....                                       | 13 |
| 3.1. Base de datos BEDEC .....                              | 13 |
| 3.2. Pasaporte de materiales .....                          | 14 |
| 3.3. Pirámide de materiales de construcción .....           | 15 |
| 3.4. Herramienta EDGE Buildings .....                       | 16 |
| 3.5. Metodologías y estándares .....                        | 17 |
| 3.6. Oportunidad de desarrollo .....                        | 18 |
| 4. Inteligencia artificial aplicada a la construcción ..... | 19 |
| 4.1. Inteligencia artificial .....                          | 19 |
| 4.2. Tipos de inteligencia .....                            | 20 |
| 4.3. Tipos de aprendizaje .....                             | 21 |
| 4.4. Ajuste de datos .....                                  | 21 |
| 4.5. Matlab .....   | 22 |
| 4.6. Redes neuronales .....                                 | 24 |
| 4.7. Investigación práctica .....                           | 26 |
| 4.7.1. Metodología con datos de entorno .....               | 28 |
| 4.7.2. Metodología con datos intrínsecos .....              | 29 |
| 4.8. Algoritmo de búsqueda de mínimos o máximos .....       | 32 |
| 4.9. Algoritmos genéticos .....                             | 33 |
| 4.10. Potencial .....                                       | 33 |

|   |    |
|---|----|
| 5. Proceso de diseño .....                        | 34 |
| 5.1 Preparación del modelo 3D .....               | 34 |
| 5.2. Generación de datos desde modelos 3D.....    | 35 |
| 5.3. Presupuestos y vinculación BIM.....          | 38 |
| 5.4. Base de datos .....                          | 40 |
| 5.5. Vinculación con herramienta ESPREH.....      | 42 |
| 5.6. Interfaz de usuario.....                     | 43 |
| 5.7. Proceso de optimización .....                | 47 |
| 5.8. Generación de hipótesis.....                 | 48 |
| 5.9. Visualización .....                          | 49 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones.....            | 52 |
| Bibliografía.....                                 | 53 |
| Agradecimientos .....                             | 55 |
| Anexos .....                                      | 56 |
| A.1. Herramienta de análisis y optimización ..... | 57 |
| A.1.1. Valores de entrada .....                   | 57 |
| A.1.2. Interfaz de usuario.....                   | 58 |
| A.1.3. Banco de edificios .....                   | 60 |
| A.1.4. Detallado de impacto.....                  | 61 |
| A.1.5. Base de datos .....                        | 62 |
| A.1.6. Hipótesis.....                             | 64 |
| A.2. Herramienta ESPREH.....                      | 66 |
| A.2.1. Datos generales .....                      | 66 |
| A.2.2. Estado inicial del edificio.....           | 66 |
| A.2.3. Estado final del edificio .....            | 68 |
| A.2.4. Resultados .....                           | 70 |
| A.3. Programación asistida por IA.....            | 73 |

### Glosario

|          |  |
|----------|--|
| BIM      | Metodología de modelado de información de construcción para habilitar el diseño, construcción y mantenimiento eficientes.  |
| Chat GPT | Modelo de inteligencia artificial basado en la versión GPT-3, para la interpretación de lenguaje natural.  |
| ESPREH   | Herramienta desarrollada por ITeC de soporte a la rehabilitación energética de edificios de viviendas.   |
| IFC      | Formato de archivo utilizado por programas informáticos dentro del sistema BIM, de las siglas en inglés, IFC (Industry Foundation Classes).  |
| Matlab   | Plataforma de programación y cálculo numérico para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos.   |
| ODS      | Objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la ONU como plan de desarrollo para el futuro, haciendo énfasis en el impacto social de las actividades a desarrollar.           |
| TCQ      | Software de construcción que utiliza un conjunto de herramientas informáticas para establecer y monitorear los parámetros de tiempo, costo y calidad en un proyecto de construcción. |

### Abreviaturas

|      |  |
|------|--|
| IPCC | Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, del inglés |
| ITeC | Instituto de Tecnología de la Construcción                     |
| ONU  | Organización de las Naciones Unidas                            |

## 1. Introducción

El objetivo de esta tesis es investigar y abordar el impacto ambiental de la industria de la construcción, con un enfoque específico en la fabricación de materiales de construcción, su transporte al sitio de construcción y la implementación de proyectos de construcción.

Para lograr este objetivo, se abordará primero la cuestión de la gestión de datos. Se desarrollará una base de datos flexible y precisa para procesar los datos sobre los elementos constitutivos de un proyecto de construcción, incluyendo información sobre los materiales utilizados en la construcción, su origen, transporte e impacto ambiental. Tener estos datos en un lugar centralizado y de fácil acceso será indispensable para las próximas etapas de la investigación.

El segundo paso es realizar un análisis dinámico de los proyectos de construcción, evaluando su impacto y nivel de sostenibilidad. Esto incluirá un examen exhaustivo de la huella de carbono del proyecto, su eficiencia energética y su impacto en el medio ambiente. El objetivo es proporcionar una comprensión completa del impacto ambiental de un proyecto de construcción e identificar áreas donde se pueden hacer mejoras.

Sobre la base del análisis, el tercer paso es optimizar el proceso de construcción mediante el uso de materiales de construcción más sostenibles. La investigación se centrará en la selección de materiales con menor huella de carbono, mayor eficiencia energética y menor impacto en el medio ambiente. Este paso será crucial para reducir el impacto ambiental del proyecto de construcción y contribuirá a la sostenibilidad general de la industria.

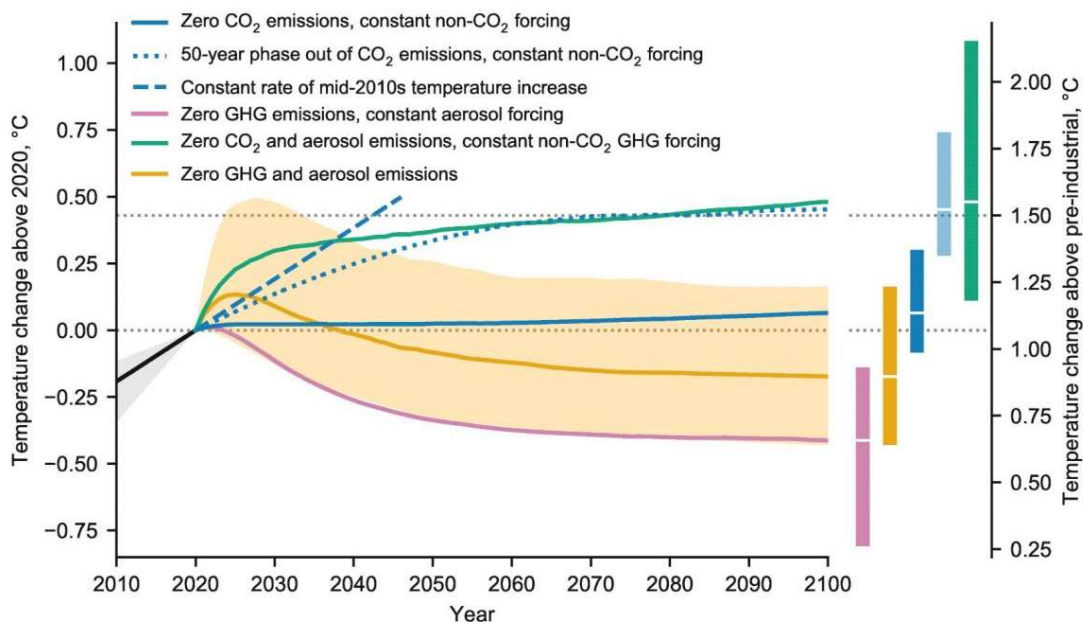
Finalmente, se comparará el proyecto inicial con el optimizado a través de una representación visual intuitiva. Se presentarán gráficos y tablas para comparar el impacto ambiental del proyecto antes y después de la optimización, con el fin de evaluar el éxito del proceso. Esto proporcionará una representación fácil de entender de los resultados y el impacto del proceso de optimización en el impacto ambiental del proyecto de construcción.

En conclusión, la tesis tiene como objetivo investigar y abordar el impacto ambiental de la industria de la construcción, con un enfoque específico en la fabricación de materiales de construcción, su transporte al sitio de construcción y la implementación de proyectos de construcción. La investigación incluirá una gestión de datos integral, análisis dinámico, optimización y visualización de los resultados, proporcionando un enfoque claro y práctico para reducir el impacto ambiental de los proyectos de construcción y contribuir a la sostenibilidad de la industria.

## 2. Contexto

### 2.1 Crisis ambiental global

Los seres humanos han tenido un profundo efecto en el mundo natural, dando lugar a un aumento significativo de la degradación ambiental. En el último siglo se ha producido una rápida industrialización y agotamiento de los recursos que han provocado una grave contaminación a escala mundial. Si no tomamos medidas y las emisiones de carbono no se controlan, se prevé que experimentaremos un aumento significativo y potencialmente irreversible de las temperaturas mundiales. Incluso con los esfuerzos actuales para mitigar las emisiones, se proyecta un aumento de la temperatura de al menos 1,5°C antes de que se pueda lograr la estabilización.



**Ilustración 1. Estimación de aumento de temperaturas globales causadas por las emisiones de carbono para el año 2080. Fuente: Gráficos, IPCC, sin fecha.**

### 2.2 Impacto de la construcción

El sector de la construcción tiene un gran impacto en la contaminación ambiental. Los estudios muestran que es responsable de un porcentaje significativo de contaminación atmosférica en las ciudades, estimado en 23%. Además, es responsable de una alta proporción de emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del agua potable y residuos en vertederos, con estimaciones del 50% para cada uno de ellos. Las principales fuentes de contaminación en la industria de la construcción son la producción

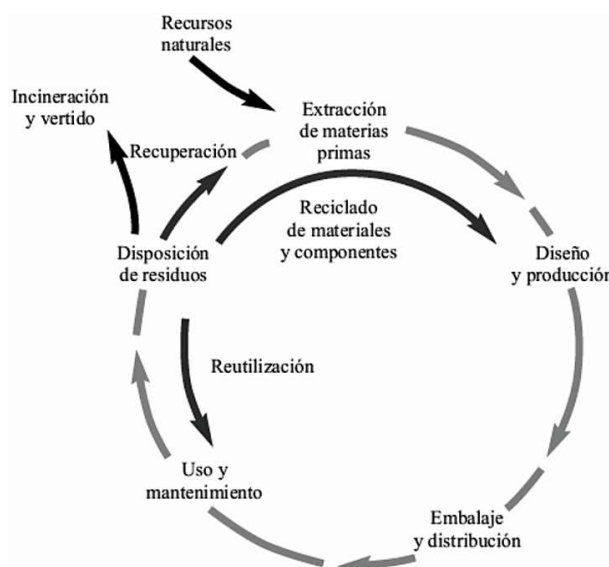


y el transporte de materiales de construcción, en particular cemento y acero, y también el propio proceso de construcción. Es importante que el sector evalúe y aborde estos temas para minimizar su impacto negativo en el medio ambiente.

Dados los desafíos ambientales asociados con el entorno construido, la arquitectura sostenible ha surgido como una forma de reducir el impacto del uso de edificios en el medio ambiente. Este enfoque hace hincapié en la reducción al mínimo del consumo de recursos y la producción de desechos, incluidos la energía, el agua y los alimentos. Para lograr esto, la arquitectura sostenible a menudo incorpora el uso de materiales respetuosos con el medio ambiente, como materiales reciclados o de origen local, con el fin de minimizar el impacto ambiental de la producción y el transporte. Al implementar principios de diseño sostenible, la arquitectura puede ayudar a mitigar el daño ambiental y promover la sostenibilidad a largo plazo en el entorno construido.

### 2.3 Estrategias hacia la sostenibilidad

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta importante para evaluar el impacto ambiental de los edificios. Este método de análisis considera las diversas fases de la existencia de un edificio, incluyendo fabricación, construcción, uso, mantenimiento, demolición y gestión de residuos. Al observar todo el ciclo de vida del edificio, el ACV proporciona una comprensión más completa del impacto del edificio en el medio ambiente. Además, este enfoque puede ayudar en la planificación para el final de la vida de un edificio, con el objetivo de promover la reutilización de materiales de construcción y reducir la necesidad de extracción de recursos. En general, el ACV es útil para identificar las formas en que los edificios pueden ser diseñados, construidos y operados para minimizar su impacto ambiental y hacerlos más sostenibles.



**Ilustración 2. Descripción de las fases del ciclo de vida de un edificio bajo el contexto de la economía circular. Fuente: Construable, 2014.**

## 8 Herramienta de análisis

También existen estrategias para compensar las emisiones de carbono y la energía consumida durante el ciclo de vida de un edificio, que apuntan a neutralizar el impacto ambiental negativo del edificio. Estas estrategias incluyen iniciativas para la protección contra la deforestación y la eficiencia energética en las economías en desarrollo, que ofrecen el potencial para un impacto ambiental positivo. Sin embargo, vale la pena señalar que hay consecuencias no deseadas de tales prácticas también. Una posible desventaja de la compensación de carbono es que empresas pueden evitar asumir la responsabilidad de sus propias emisiones pagando para compensarlas, en lugar de reducirlas directamente. Esto puede dar lugar a una falta de rendición de cuentas y dificultar la medición real de la eficacia de estas iniciativas de compensación.

Además, el concepto de sostenibilidad en la construcción abarca no solo las preocupaciones ambientales, sino también los aspectos económicos y sociales. Esta es la razón por la cual los ODS de las Naciones Unidas se utilizan a menudo como un marco, que esboza 17 objetivos destinados a promover el desarrollo sostenible para la humanidad en el futuro. Ocho de estos objetivos están directa e indirectamente relacionados con el desarrollo de la construcción y abordan cuestiones como la energía asequible y limpia, el trabajo decente y el crecimiento económico, y las ciudades y comunidades sostenibles. Es esencial tener en cuenta las consecuencias económicas y sociales de los proyectos de construcción para garantizar un enfoque amplio y equitativo de la sostenibilidad. Este enfoque es lo que los ODS de la ONU enfatizan y puede ser un punto de referencia para que la industria de la construcción se esfuerce en construir un futuro sostenible.



Ilustración 3. Objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU. Fuente: ONU, 2015.

## 2.4. Alternativas

Las prácticas tradicionales de construcción suelen ser más sostenibles que las utilizadas en la construcción moderna. Una de las principales razones es que los métodos tradicionales dependían en gran medida de materiales naturales de origen local, como la arcilla, la paja y la madera, que tienen un impacto ambiental menor que muchos materiales de construcción modernos, como el hormigón y el acero. Las técnicas de construcción tradicionales también hacían uso del diseño solar pasivo, maximizando la luz natural y la ventilación para reducir la necesidad de sistemas de iluminación y refrigeración artificiales. Además, las prácticas tradicionales de construcción a menudo incorporaban conocimientos indígenas, que hacían hincapié en los principios de conservación de los recursos, participación de la comunidad y construcción en armonía con el medio ambiente local. Estas prácticas han demostrado ser duraderas, eficientes y menos exigentes que muchas de las metodologías que se utilizan hoy en día. Estas metodologías tradicionales conducen a edificios que son más eficientes energéticamente y a menudo más resistentes a los peligros ambientales, como inundaciones, terremotos y vientos fuertes.

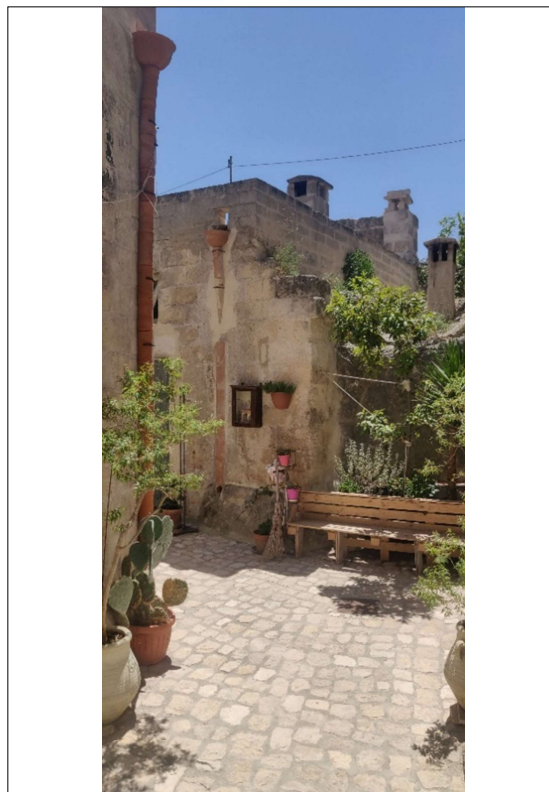
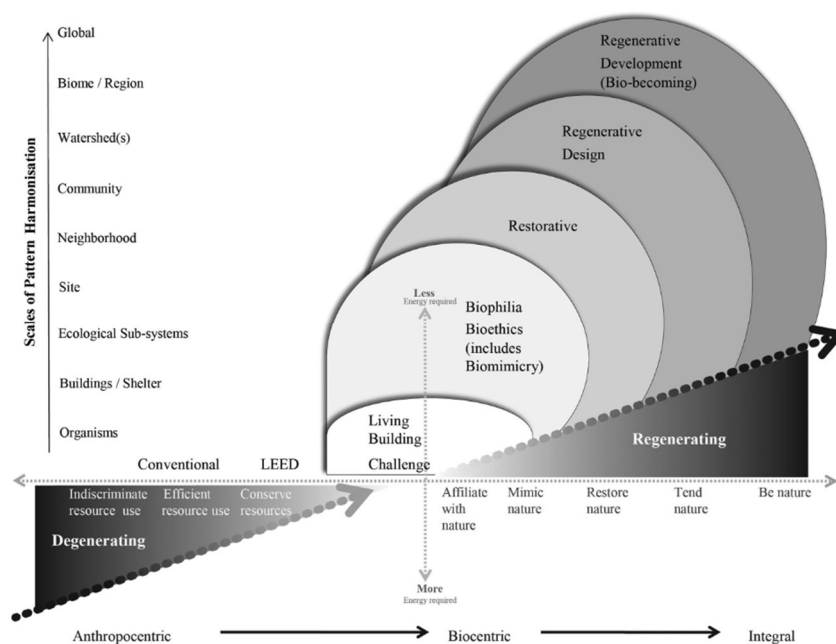


Ilustración 4. Fotografía tomada en la ciudad de Matera, Italia. Ejemplo de construcción tradicional vernácula, donde se ven también las bajantes de aguas pluviales, terminando en muchos casos, en tanques internos de acopio de agua. Fuente: propia, 2022.

Tomando influencias de la arquitectura vernácula tradicional y arquitectura sostenible, comienza a surgir la arquitectura regenerativa, que es un enfoque holístico del diseño de edificios que tiene como objetivo crear estructuras que no solo tienen un impacto mínimo en el medio ambiente, sino que en realidad tienen un impacto positivo al regenerar los sistemas naturales. El concepto de arquitectura regenerativa se basa en la idea de que los edificios pueden diseñarse y construirse de tal manera que no solo consuman menos recursos y generen menos residuos, sino que también contribuyan activamente a la restauración y regeneración del ecosistema local.

Este enfoque se puede aplicar a la nueva construcción, así como la rehabilitación de los edificios existentes. El uso de la arquitectura regenerativa en futuros proyectos de construcción podría generar una serie de beneficios, entre ellos, un menor consumo de energía, una mejor calidad del aire y el agua y una mayor biodiversidad. Además, la arquitectura regenerativa también puede mejorar el bienestar de los ocupantes del edificio al proporcionarles entornos interiores más saludables y una conexión más fuerte con la naturaleza. Sin embargo, la implementación de los principios de la arquitectura regenerativa puede ser un reto, que requiere la colaboración interdisciplinaria entre arquitectos, ingenieros y ecologistas, así como una cuidadosa consideración de las condiciones locales y las limitaciones específicas del sitio.



**Ilustración 5. Trayectoria del diseño regenerativo, Fuente: Libro, Regenerative Urban Design and Ecosystem Biomimicry; y a su vez adaptado de, Regensis 2000-2018.**

## 2.5. Tecnologías de apoyo

El sistema de diseño BIM y la gestión de proyectos, la explotación de Big Data y los algoritmos de optimización e inteligencia artificial son herramientas que se utilizan para hacer que los proyectos de construcción sean más sostenibles. BIM permite la creación de modelos de edificios virtuales que se pueden utilizar para diseñar y construir edificios que son más eficientes energéticamente, tienen un menor impacto ambiental y son más rentables. El software de gestión de proyectos que utiliza BIM permite la coordinación eficiente de todas las partes interesadas, lo que puede conducir a resultados más sostenibles.

La explotación de Big Data está jugando un papel cada vez más importante en la búsqueda de proyectos de construcción más sostenibles. Al analizar conjuntos de datos grandes y complejos, es posible identificar patrones y tendencias que pueden informar el diseño y la construcción de edificios que son más eficientes energéticamente, tienen un menor impacto ambiental y son más rentables. Esto se puede lograr mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático y minería de datos para analizar datos de edificios existentes, así como mediante el uso de datos de redes de sensores y otras fuentes.

| ENVIRONMENT   |  |     |
|---------------|--|-----|
| 252,716       | Forest loss <a href="#">this year</a> (hectares)                             | [+] |
| 340,224       | Land lost to soil erosion <a href="#">this year</a> (ha)                     | [+] |
| 1,772,695,338 | CO2 emissions <a href="#">this year</a> (tons)                               | [+] |
| 583,131       | Desertification <a href="#">this year</a> (hectares)                         | [+] |
| 475,853       | Toxic chemicals released in the environment <a href="#">this year</a> (tons) | [+] |

**Ilustración 6. Extracto de datos en tiempo real relacionados al ambiente y su contaminación. Fuente: Página web, [www.worldometers.info](http://www.worldometers.info), 2023.**

Los algoritmos de optimización y la inteligencia artificial también se están utilizando para hacer que los proyectos de construcción sean más sostenibles. Los algoritmos de optimización son técnicas matemáticas que se utilizan para encontrar las mejores soluciones a los problemas basados en un conjunto de restricciones y objetivos. La inteligencia artificial es un campo amplio que abarca una amplia gama de tecnologías, incluido el aprendizaje automático, el procesamiento del lenguaje natural y la visión por computadora. Estas tecnologías se están utilizando para desarrollar sistemas inteligentes que pueden tomar decisiones, predecir resultados y adaptarse a las condiciones cambiantes. Esto se puede utilizar en la construcción para optimizar la asignación de recursos y la programación, así como para predecir y prevenir problemas.

Al explorar estas herramientas se concluye que, la integración de BIM y gestión de proyectos, explotación de Big Data y algoritmos de optimización e inteligencia artificial está llevando al desarrollo de proyectos de edificación y construcción más sostenibles. Mediante el uso de estas herramientas, es posible identificar patrones y tendencias que pueden informar el diseño y la construcción de edificios que son más eficientes energéticamente, tienen un menor impacto ambiental y son más rentables. Estas implementaciones de vanguardia de estas tecnologías están ayudando a la industria a avanzar hacia prácticas de construcción más sostenibles y eficientes.

Explorando las posibilidades prácticas de estas técnicas, encontramos software como Excel y otros programas de hojas de cálculo son herramientas útiles para la creación y gestión de bases de datos, ya sea para almacenar información de un proyecto de construcción o para analizar datos sobre edificios existentes en un área determinada, mientras que Python es un lenguaje de programación muy utilizado para el análisis y la visualización de datos. Por lo tanto, se pueden utilizar en conjunto para desarrollar programas académicos relacionados con la construcción y arquitectura, como calcular el presupuesto total y estimar los costos de mano de obra de un proyecto de construcción o para analizar y visualizar información sobre edificios existentes en un área determinada para ayudar en la planificación urbana.

### 3. Antecedentes

En este capítulo, se examinan las herramientas y tecnologías actualmente disponibles para analizar la eficiencia energética, la sostenibilidad y la gestión de recursos en el campo de la construcción. El objetivo de este examen es ofrecer un panorama general de la situación actual en este ámbito y determinar las esferas en las que se necesita más investigación y desarrollo. Exploraremos herramientas de recopilación, análisis y visualización de datos, así como software y plataformas de colaboración y comunicación específicas para el sector de la construcción. También evaluaremos las metodologías y estándares existentes utilizados en la evaluación del desempeño y sostenibilidad de edificios, como LEED, BREEAM y otros.

#### 3.1. Base de datos BEDEC

BEDEC es una base de datos completa desarrollada por ITeC que proporciona información detallada sobre materiales y elementos de construcción. La base de datos está diseñada para su uso por profesionales de la industria e incluye datos sobre una amplia gama de productos, incluidos elementos estructurales, acabados y sistemas de construcción. Permite a los usuarios buscar y comparar fácilmente productos en función de criterios específicos como las características técnicas, el precio y el impacto ambiental. Además, BEDEC también incluye información actualizada sobre regulaciones y estándares, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para el cumplimiento y la planificación de proyectos. Con BEDEC, los usuarios pueden acceder a los datos más relevantes y precisos para tomar decisiones informadas y garantizar el éxito de sus proyectos de construcción.



Ilustración 7. Página web de la base de datos BEDEC del ITeC. Fuente: ITeC, 2023.

El ITeC desarrolla bases de datos desde 1985, que son utilizadas por varios organismos e individuos para realizar concursos públicos. Dentro de estas bases de datos destaca

BEDEC Sostenibilidad, que es una estructura de información que contiene información medioambiental. Permite consultar e incorporar datos sobre residuos de construcción y envases, costes energéticos, emisiones de CO<sub>2</sub>, % materia prima y % material reciclado para ambientalizar los proyectos. El esquema de información para calcular la gestión de residuos se estructura en conjuntos de elementos de trabajo o elementos de trabajo individuales. Estos a su vez se categorizan en mano de obra, maquinaria y materiales lo que le proporciona tanto los residuos de envases como los residuos procedentes de la construcción de estos. BEDEC Sostenibilidad no sólo proporciona información sobre indicadores medioambientales, sino que también ofrece información a nivel de sección de obra, lo que permite identificar si el material es reutilizable. En resumen, la estructura de cálculo única de BEDEC Sostenibilidad responde a los retos que plantea la economía circular.

### 3.2. Pasaporte de materiales

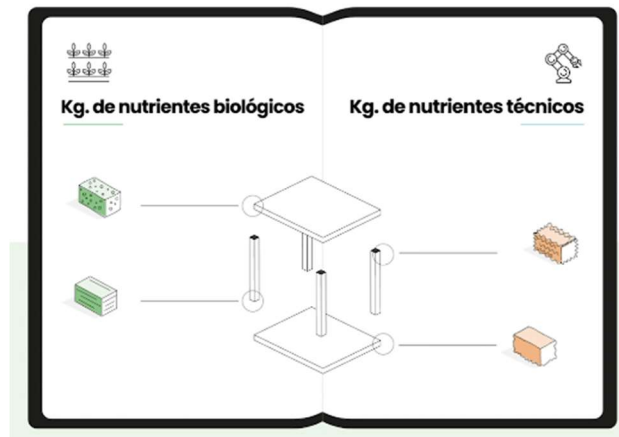
El pasaporte material para edificios de Construcía es un documento completo que proporciona información detallada sobre los materiales y sistemas utilizados en la construcción de un edificio. El pasaporte está destinado a los profesionales de la industria y está diseñado para proporcionar un resumen claro y conciso de los materiales y sistemas utilizados, así como las certificaciones y aprobaciones pertinentes.

El pasaporte incluye información sobre los materiales utilizados en la estructura del edificio, como el tipo de hormigón y acero utilizado, así como información sobre la envolvente del edificio, incluido el tipo de aislamiento y los materiales de revestimiento utilizados. También incluye detalles sobre los sistemas mecánicos y eléctricos, como el tipo de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), así como el tipo de sistemas y equipos eléctricos utilizados.

Además de proporcionar información sobre los materiales y sistemas utilizados, el pasaporte también incluye certificaciones y aprobaciones pertinentes, como códigos de construcción y certificaciones de eficiencia energética. Esta información ayuda a los técnicos profesionales a garantizar que el edificio cumple con todas las normas y reglamentos pertinentes, y que es eficiente energéticamente y sostenible.

En general, el pasaporte de materiales para edificios de Construcía es una excelente referencia para los profesionales especializados en la etapa de fin de vida el edificio, proporcionando información detallada sobre los materiales y sistemas utilizados en la construcción de un edificio, así como las certificaciones y aprobaciones pertinentes, que aseguran que el edificio cumple con todas las normas y reglamentos adecuados.





**Ilustración 8. Concepto del pasaporte de materiales, documento que retiene información detallada de todos los materiales de un edificio para asistir en la deconstrucción del edificio y la reutilización de los mismos. Fuente: Construcía, 2023.**

### 3.3. Pirámide de materiales de construcción

La pirámide de materiales de construcción de CINARK es una representación visual de los diferentes tipos de materiales utilizados en la construcción de edificios, dispuestos en una estructura jerárquica. La pirámide está diseñada para proporcionar una visión clara y concisa de los materiales utilizados en un edificio, desde los materiales más fundamentales y estructurales en la base de la pirámide hasta los materiales más decorativos y de acabado en la parte superior.

La base de la pirámide representa los materiales estructurales, tales como hormigón, acero y mampostería. Estos son los materiales que proporcionan la fuerza y estabilidad del edificio, y son típicamente más costosos y necesitan mayor cantidad de mano de obra para instalar.

El siguiente nivel de la pirámide representa los materiales de carga, tales como madera de marco, paneles de yeso y aislamiento. Estos materiales soportan el peso del edificio y su contenido, y son típicamente menos costosos y necesitan menos mano de obra que los materiales estructurales.

El tercer nivel de la pirámide representa los materiales de acabado, tales como pisos, pintura y revestimientos de paredes. Estos materiales se utilizan para agregar atractivo estético y durabilidad al edificio, y son típicamente los menos costosos y menos mano de obra de los materiales utilizados en la construcción.

Por último, la parte superior de la pirámide representa los materiales decorativos, tales como carpintería, gabinetes y accesorios. Estos materiales se utilizan para agregar atractivo visual y funcionalidad al edificio, y son típicamente los más costosos y más intensivos en mano de obra de los materiales utilizados en la construcción.



**Ilustración 9. Pirámide de materiales de la construcción y los diferentes estratos de clasificación.**  
Fuente: CINARK, 2023.

### 3.4. Herramienta EDGE Buildings

La herramienta de edificios EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) de la Corporación Financiera Internacional (IFC) es una herramienta de software que ayuda a los profesionales de la construcción a diseñar y construir edificios energéticamente eficientes. Está diseñado para proporcionar un proceso claro y conciso para diseñar y construir edificios que sean eficientes y sostenibles desde el punto de vista energético.

La herramienta incluye una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios introducir varios parámetros de diseño de edificios, como ubicación, tipo y tamaño de edificio, y sistemas de HVAC, y luego genera un informe que analiza la eficiencia energética del edificio, proporcionar una evaluación clara y concisa del rendimiento del edificio e identificar áreas de mejora.

La herramienta EDGE Buildings evalúa el rendimiento energético del edificio en comparación con un conjunto de normas globales y certifica el edificio en función de su cumplimiento con la norma. También permite a los profesionales de la construcción comparar el rendimiento energético de diferentes opciones de diseño y ofrece sugerencias de formas rentables para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental del edificio.

La herramienta también proporciona un proceso de certificación para edificios que logran un cierto nivel de eficiencia energética y sostenibilidad. Esta certificación puede utilizarse como herramienta de marketing y también para acceder a oportunidades de financiación ecológica.

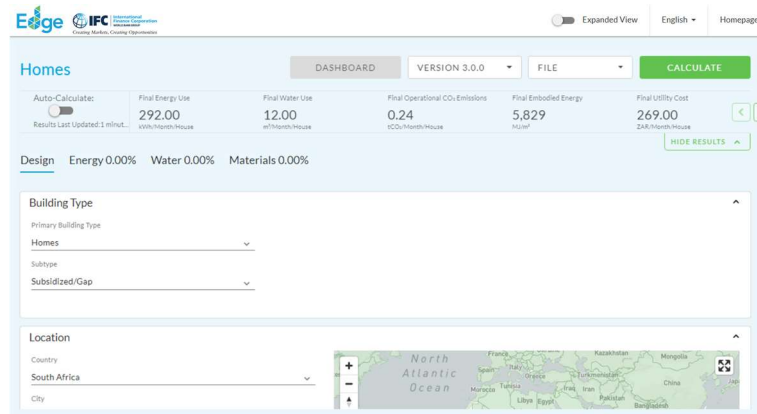


Ilustración 10. Extracto de la página de la aplicación EDGE, para el cálculo de eficiencia energética en fase de uso. Fuente: IFC, 2023.

### 3.5. Metodologías y estándares

LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) y BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) son dos de las metodologías y normas más ampliamente reconocidas y utilizadas para evaluar el comportamiento ambiental de los edificios. Ambos están diseñados para proporcionar un proceso claro y conciso para evaluar el rendimiento ambiental de un edificio, incluida su eficiencia energética, el uso del agua y la calidad ambiental interior.

LEED es un programa de certificación desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC) y se basa en un sistema de puntos, donde los edificios ganan puntos por cumplir ciertos criterios en categorías como eficiencia energética, uso de agua y calidad ambiental interior. Los edificios que ganan un cierto número de puntos están certificados en diferentes niveles, siendo el nivel más alto LEED Platinum.



Ilustración 11. Criterios de puntuación para la certificación LEED. Fuente: USGBC, 2022.

BREEAM, por otro lado, es un programa de certificación desarrollado por el Building Research Establishment (BRE) y se basa en un sistema de calificación, donde los edificios se clasifican en una escala de Pass, Good, Very Good, Excellent y Outstanding en categorías como la eficiencia energética, uso del agua, y calidad ambiental interior.

|  |   |
|--|---|
| <p> <b>1. GESTIÓN</b><br/>Buenas prácticas de puesta en marcha, políticas aplicadas a la gestión de la construcción, manuales de funcionamiento, sistema de Gestión Ambiental en la construcción.</p> <p> <b>2. SALUD Y BIENESTAR</b><br/>Confort térmico, iluminación natural y artificial, calidad del aire, acústica, etc.</p> <p> <b>3. ENERGÍA</b><br/>Emisiones de CO<sub>2</sub>, iluminación e instalaciones eficientes, monitorización de la energía consumida, etc.</p> <p> <b>4. TRANSPORTE</b><br/>Ubicación/localización de la parcela, modos alternativos de transporte, acceso al transporte público, cercanía a servicios, etc.</p> <p> <b>5. AGUA</b><br/>Aparatos eficientes para el consumo del agua, monitorización de los consumos de agua, sistemas de detección de fugas, reutilización y reciclaje de aguas, etc.</p> | <p> <b>6. MATERIALES</b><br/>Uso de materiales con un bajo impacto medio ambiental, reutilización de edificios existentes, aprovisionamiento responsable de materiales, etc.</p> <p> <b>7. RESIDUOS</b><br/>Gestión eficaz y adecuada, fomentar el uso de productos reciclados, premiar el espacio de almacenamiento interno/externo de residuos domésticos reciclables y no reciclables, etc.</p> <p> <b>8. USO DEL SUELO Y ECOLOGÍA</b><br/>Reutilización de suelos previamente urbanizados/contaminados, protección de elementos de valor ecológico, generación de nuevos hábitats, etc.</p> <p> <b>9. CONTAMINACIÓN</b><br/>Empleo de refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global, instalaciones de calefacción con bajas emisiones de NO<sub>x</sub>, atenuación de ruidos y contaminación lumínica, etc.</p> <p> <b>10. INNOVACIÓN</b><br/>Herramienta fundamental para conseguir niveles cada vez más altos de sostenibilidad ambiental.</p> |
|--|---|

**Ilustración 12. Criterios de evaluación de la sostenibilidad de una vivienda según el esquema BREEAM ES Vivienda. Fuente: BREEAM ES, 2023.**

Tanto LEED como BREEAM tienen en cuenta todo el ciclo de vida de un edificio, desde el diseño y la construcción hasta la operación y el mantenimiento, y ambos proporcionan un marco para medir y mejorar el rendimiento ambiental de un edificio. Además, ambas certificaciones son ampliamente reconocidas y respetadas por profesionales de la industria, y pueden ser utilizadas como una herramienta de marketing y para acceder a oportunidades de financiamiento verde.

### 3.6. Oportunidad de desarrollo

El desarrollo de esta herramienta de análisis se centra actualmente en la fase de construcción de edificios, con datos sobre la fabricación y construcción de materiales, así como sus precios, extraídos de la base de datos BEDEC descrita anteriormente. El diseño de la propia base de datos de la herramienta permite una fácil ampliación de la herramienta a otras fases del ciclo de vida del edificio que, debido a un enfoque en el desarrollo de la herramienta como una base para un futuro, actualmente no es posible. Además, el diseño contempla el futuro uso de algoritmos de optimización más avanzados e inteligencia artificial para realizar un análisis más completo y complejo.

## 4. Inteligencia artificial aplicada a la construcción

Este apartado viene dedicado a la asignatura optativa con el mismo nombre del título, Inteligencia artificial aplicada a la construcción. Esta asignatura trata de introducir los conceptos básicos de la inteligencia artificial, así como aplicarlos de manera práctica a la carrera de arquitectura técnica. Con una mezcla balanceada entre teoría y trabajos prácticos y proyectos personales, los profesores logran impartir estos conocimientos perfectamente. Esta clase me ha generado mucho interés en el tema y ha informado muchas de las decisiones de diseño de la herramienta de análisis desarrollada.

### 4.1. Inteligencia artificial

El término "inteligencia artificial" fue acuñado por John McCarthy, un científico de la computación, para describir "la ciencia y la ingeniería de la fabricación de máquinas inteligentes." Como tal, este campo estudia cómo crear programas de computadora con la capacidad de aprender y razonar como los humanos para resolver problemas de una manera creativa. Dentro de este campo, hay varios subcampos de estudio como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo. La principal diferencia entre ellos es el tipo de algoritmo utilizado en cada caso. El aprendizaje automático típicamente usa árboles de decisión, y el aprendizaje profundo usa redes neuronales más avanzadas.

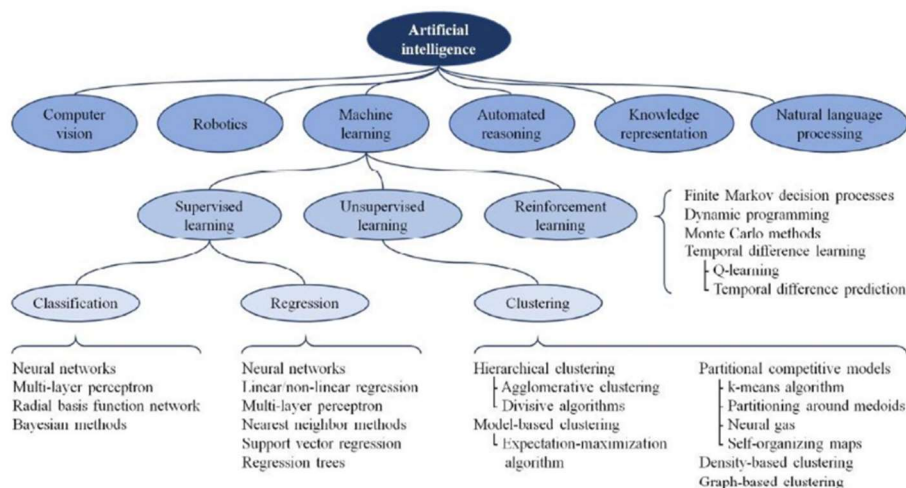


Ilustración 13. Ramas de la inteligencia artificial, sus campos de estudio y las técnicas específicas a aprendizaje automático. Fuente: Antoni Guillamon, Luckey, 2020.

## 4.2. Tipos de inteligencia

Dentro del campo de la inteligencia artificial, se reconocen los siguientes tipos de inteligencia que se han o se buscan aplicar a una máquina o computadora:

- Máquinas reactivas, el tipo más simple y antiguo que se conoce. Es un modelo introductorio y tiene una capacidad más limitada que los modelos modernos. Su función es reproducir un comportamiento cuando es estimulada, siendo sólo una acción reactiva. Estas máquinas no tienen memoria, la capacidad de aprender ni la capacidad de administrar una base de datos interna para ejecutar las órdenes dadas. Son máquinas de procesamiento cuya única función es dar una respuesta, siendo automatizadas para reaccionar ante ciertas acciones.
- Máquinas de memoria limitadas, son reactivas, pero con la ventaja añadida de tener a su disposición una pequeña cantidad de memoria interna. Esto resulta en una máquina más avanzada, capaz de aprender de los datos guardados. Es decir, cada exposición a nueva información le permite generar aprendizajes derivados de su contenido. De esta manera, son capaces de tomar pequeñas decisiones para responder a una solicitud o realizar cualquier acción.
- Inteligencia Estrecha Artificial o ANI de la abreviatura en inglés, Artificial Narrow Intelligence, es el tipo más flexible de inteligencia, pudiéndose adaptarse a los requisitos del sistema o máquina particular. Concentra su esfuerzo en un único trabajo y le dedica toda su complejidad. Sería análogo a un profesional capacitado que se dedica a una única función compleja. De esta manera, sus aplicaciones más comunes son: asistentes virtuales como Siri, Alexa y Cortana; reconocimiento facial; y filtros de spam.
- Inteligencia Artificial General o AGI de la abreviatura en inglés, Artificial General Intelligence, se considera una máquina capaz de imitar la inteligencia humana y con una vasta capacidad de acción. En su comportamiento, puede aprender y replicar actitudes para resolver diferentes cuestiones. Estas propiedades, la convierten en el modelo más versátil discutido actualmente, aunque la posibilidad de su creación en este momento es muy baja. De cualquier manera, la AGI tendría el papel de pensar y comprender problemas individuales, por lo que resultaría una solución diferente y única para cada escenario que se enfrente.
- Superinteligencia artificial o ASI de la abreviatura en inglés, Artificial Super Intelligence, es considerada la más poderosa, porque se trata de una máquina capaz de ser consciente y autónoma. Es decir, en lugar de replicar comportamiento, esta inteligencia lo supera, y es considerada capaz de pensar mejor y de ser más hábil que los humanos. Se espera que una inteligencia de este tipo será capaz de aprender cómo funciona su misma programación, y mejorarla, logrando máquinas más capaces a un ritmo acelerado e imparable, llamado como la singularidad tecnológica de la inteligencia artificial.

### 4.3. Tipos de aprendizaje

Similar a los tipos de inteligencia, se trata de técnicas o filosofías de aprendizaje a la que son sometidas las inteligencias artificiales en el proceso de entrenamiento previo a su aplicación. Estas técnicas pueden aplicarse a varios tipos de inteligencia artificial y se dividen en los siguientes tipos de entrenamiento:

- El aprendizaje supervisado es un tipo de aprendizaje automático en el que un modelo se forma en un conjunto de datos etiquetado. En otras palabras, los datos de entrenamiento incluyen tanto las variables de entrada como las variables de salida correspondientes, y el modelo está entrenado para aprender la relación entre ellas. Esto permite que el modelo prediga la variable de salida para nuevos datos de entrada no vistos. Ejemplos comunes de aprendizaje supervisado incluyen regresión lineal, regresión logística y árboles de decisión.
- El aprendizaje no supervisado es un tipo de aprendizaje automático en el que el modelo se forma en un conjunto de datos sin etiquetar. Los datos de entrenamiento incluyen solo las variables de entrada y el modelo está entrenado para identificar patrones o relaciones dentro de los datos. Esto permite al modelo descubrir estructuras o características ocultas en los datos sin ningún conocimiento previo de la variable de salida. Ejemplos comunes de aprendizaje no supervisado incluyen el agrupamiento, la reducción de la dimensionalidad y la detección de anomalías.

Una de las principales diferencias entre el aprendizaje supervisado y el no supervisado es el tipo de datos utilizados para la formación. El aprendizaje supervisado requiere datos etiquetados, mientras que el aprendizaje sin supervisión solo requiere datos sin etiqueta. Además, el aprendizaje supervisado se utiliza generalmente para tareas como la clasificación y la regresión, mientras que el aprendizaje no supervisado se utiliza para tareas como el reconocimiento de patrones y la estimación de la densidad.

A pesar de las diferencias, también hay algunas similitudes entre el aprendizaje supervisado y el no supervisado. Ambos tipos de aprendizaje implican entrenar un modelo en un conjunto de datos, y ambos requieren el uso de un algoritmo para analizar los datos. Además, ambos tipos de aprendizaje se pueden usar en combinación entre sí, como en el aprendizaje semi supervisado, donde un modelo se entrena en un conjunto de datos etiquetado, pero también hace uso de datos no etiquetados para mejorar su rendimiento.

### 4.4. Ajuste de datos

Se conoce al ajuste de datos como el proceso mediante el cual se ajustan modelos a datos y se analiza la precisión del ajuste. Se utilizan técnicas de ajuste, incluidas

ecuaciones matemáticas y métodos no paramétricos, para modelar los datos adquiridos. Dentro de este campo de estudio de análisis de datos, se reconoce a la regresión lineal como una técnica estadística que se utiliza para modelar la relación entre una o más variables independientes y una variable dependiente.

Una de las principales ventajas de la regresión lineal es su simplicidad y facilidad de interpretación. La técnica es muy adecuada para entender la relación entre las variables, y se puede utilizar para problemas simples y complejos. Además, la regresión lineal se puede utilizar para hacer predicciones sobre resultados futuros basados en datos pasados.

Cuando se trabaja con regresión lineal, es importante asegurarse de que los datos se ajustan correctamente. Esto incluye la comprobación de valores atípicos, datos faltantes y otros problemas potenciales que pueden afectar la precisión del análisis. Además, es importante tener en cuenta los supuestos en que se basa la regresión lineal, como la asunción de la linealidad y la independencia de los errores.

Se utiliza una regresión lineal variable cuando tenemos una variable independiente y una variable dependiente. Está representada por una ecuación de línea única. Esto puede ser útil para entender la relación entre dos variables, por ejemplo, la relación entre el precio y la cantidad demandada para un producto en particular.

Por otro lado, la regresión lineal múltiple variable se utiliza cuando tenemos más de una variable independiente y una variable dependiente. Está representado por una ecuación de línea múltiple. Esto puede ser útil para entender la relación entre múltiples variables, por ejemplo, la relación entre el precio, el ingreso y la cantidad demandada por un producto en particular.

Si bien la regresión lineal tiene muchas ventajas, también tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, asume una relación lineal entre las variables, que puede no ser siempre el caso. Además, puede ser sensible a valores atípicos y puede no ser adecuado para ciertos tipos de datos, como los datos categóricos.

## 4.5. Matlab

Se utiliza el programa Matlab para la visualización y procesamiento de datos. Permite técnicas básicas de ajuste como la interpolación polinómica y polilínea. El ajuste de datos se puede realizar de forma interactiva a través del módulo "herramienta de ajuste básico", o mediante programación a través del módulo de funciones de ajuste.

Específicamente, los módulos adicionales o cajas de herramientas que se han añadido al programa base de Matlab para desarrollar programas y algoritmos de IA son: bioinformática, ajuste de curvas, aprendizaje profundo, optimización, estadísticas y aprendizaje automático y matemáticas simbólicas. Estos productos complementarios a Matlab amplían las capacidades de ajuste, como el módulo de ajuste de curva, que



permite ajustar curvas y superficies a los datos utilizando varios modelos lineales, no lineales, paramétricos y no paramétricos, así como la definición de modelos personalizados. El uso de capacidades de regresión lineal y no lineal utilizando el módulo de estadísticas y aprendizaje automático permite ajustar datos n-dimensionales; y el módulo de optimización permite ajustar datos con restricciones donde los parámetros tienen que satisfacer restricciones lineales y no lineales.

En conclusión, es una plataforma para lenguajes de programación de alto nivel y un software de computación numérica que proporciona un entorno interactivo para realizar cálculos matemáticos complejos, análisis y visualización de datos y desarrollo de algoritmos. Es ampliamente utilizado en varios campos como la ingeniería, la ciencia, las finanzas y la economía. También ofrece opciones de ajuste de datos interactivas y programáticas que proporcionan flexibilidad para que los usuarios elijan el mejor enfoque para sus necesidades específicas. Además, Matlab permite una fácil integración con otros lenguajes de programación como C, C++ y Python, lo que permite a los usuarios aprovechar el código y las bibliotecas existentes. Y proporciona soporte para computación paralela, lo que facilita la ejecución de cálculos en procesadores y clústeres multi núcleo.

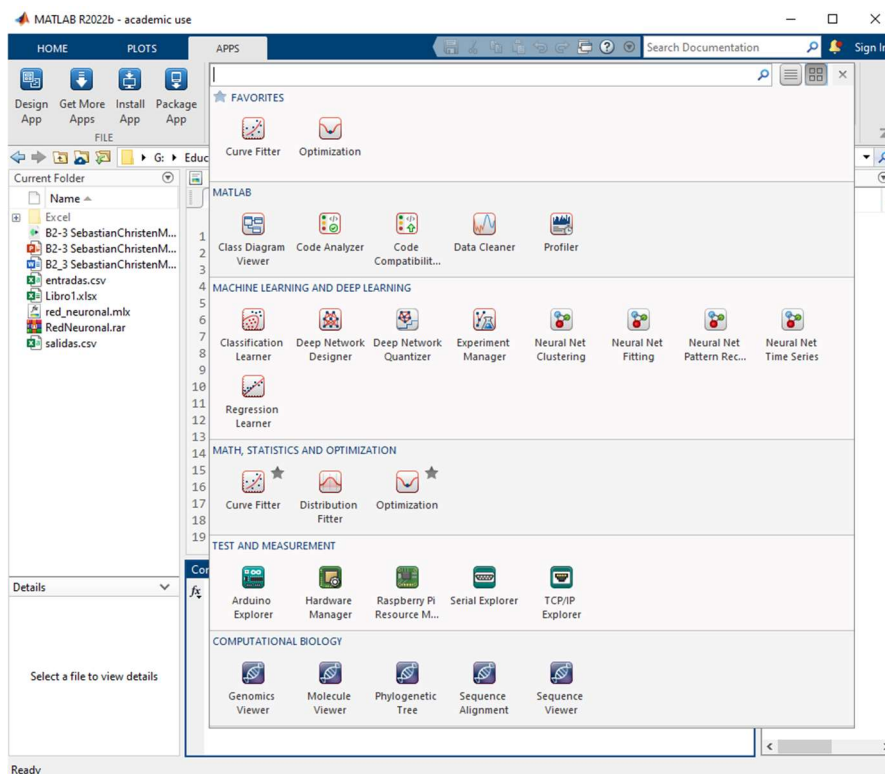
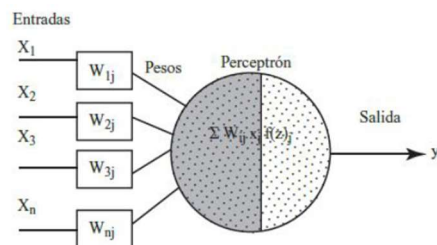


Ilustración 14. Extracto de la aplicación Matlab y sus módulos o aplicaciones. Fuente: The MathWorks, Inc., 1994-2023.

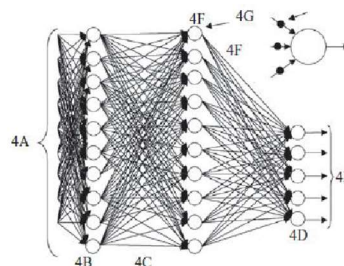
## 4.6. Redes neuronales

Dentro del campo de la inteligencia artificial, el desarrollo de redes neuronales artificiales se encuentra bajo el aprendizaje automático, supervisado, aplicado a problemas de clasificación y regresión principalmente. Las funciones que desarrolla es el análisis de datos y, la modelización, optimización y predicción utilizando estos mismos. Aproximando al concepto de neurona en una red neuronal, se encuentra el perceptrón, que es un discriminador binario lineal capaz de clasificar un conjunto de datos, generando un valor de salida en el rango de  $\{-1; 1\}$ . Este elemento puede encargarse de varias tareas de clasificación no complejas, pero empieza a fallar para conjunto de datos donde no se puede ver una clara separación o la distribución es al azar.



**Ilustración 15.** Perceptrón, consiste de valores de entrada, pesos asociados a cada una de las entradas y el valor de salida, resultante de la sumatoria de todas las entradas multiplicadas por sus pesos. Fuente: Ponce, 2011.

En contraste, la neurona típica utilizada en las redes neuronales, que no necesariamente es binaria, cumple una función similar. Estas neuronas se agrupan en capas que tienen conexiones entre ellas, y procesan la información introducida para generar un resultado final. Esta estructura está inspirada en el funcionamiento de las neuronas y sus sinápsis del cerebro humano. Aprenden de problemas ya resueltos para entrenar y/o mejorar sus conexiones o pesos para construir un sistema que realiza clasificaciones, toma de decisiones, aproximación de funciones, entre otras.



**Ilustración 16.** Red neuronal multicapa, consiste de valores de entrada (4A), capa inicial de entradas (4B), capas ocultas (4C), capa de salidas (4D) y los valores de salida (4E). Los pesos (4F), están representados por un punto negro (4G). Fuente: Ponce, 2011.

El entrenamiento de las redes neuronales se basa en el algoritmo de retro propagación del error, gradiente descendiente u otros métodos de optimización como, por ejemplo, Levenberg-Marquardt. Los pesos se actualizan con el uso de entradas y salidas deseables, asignando un valor de error al resultado final, y analizando de manera inversa dónde podría haberse generado el error, para obtener mejores resultados en futuras iteraciones o épocas del algoritmo. Es a través de múltiples iteraciones y correcciones, que el programa aprende a aproximar los valores de salida deseados.

Analizando más detenidamente los componentes de las redes neuronales, se pueden describir de la siguiente manera:

- Preactivación de la neurona o activación de entrada. Consiste de la preparación de los múltiples valores de entradas a una sola neurona, sumatoria del sesgo y el cociente de los valores de entrada y sus respectivos pesos.

$$a(x) = b + \sum_{i=1}^d w_i x_i = b + w^T x$$

- Activación de la neurona o activación de salida. Consiste de la aplicación de una función de activación ( $g$ ) al valor de salida de la neurona, dónde  $g$  puede ser una función lineal, sigmoideal, tangente hiperbólica o rectificador lineal. Siendo la sigmoideal la más utilizada.

$$h(x) = g(a(x)) = g\left(b + \sum_{i=1}^d w_i x_i\right)$$

$$g(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \text{ (función sigmoideal)}$$

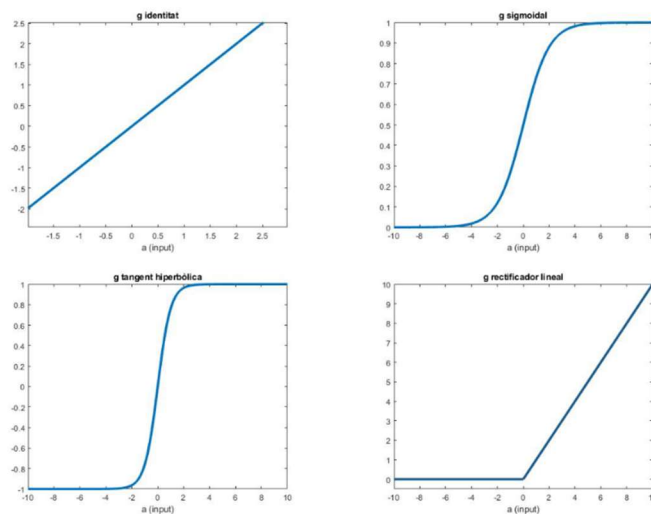
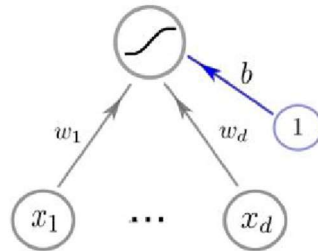


Ilustración 17. Funciones comúnmente utilizadas como funciones de activación. Fuente: Antoni Guillamon, 2023.

- Los pesos ( $w$ ) de las conexiones. Determinan que tanta importancia se le da al valor de entrada correspondiente.
- El sesgo ( $b$ ) de la neurona. Le permite a la neurona tener valores de salida diferente a cero, incluso cuando todos los valores de entrada son cero. Mueve la función de activación en un gráfico de coordenadas, de derecha a izquierda.



**Ilustración 18.** Abstracción de las conexiones entrantes a una neurona, detallando sus componentes. Fuente: Antoni Guillamon, 2023.

De esta manera, las redes neuronales traen muchas ventajas sobre otros métodos. Estos pueden sintetizar algoritmos a través del proceso de aprendizaje, no requieren conocimientos avanzados de matemática para su aplicación, sólo conocer los datos, resuelven problemas no lineales, y son robustas, dónde a pesar de que pueden fallar algunos elementos de proceso, la red continúa trabajando. Por otro lado, cada red es específica a un problema, el entrenamiento es largo y es costoso computacionalmente. Y, se requieren muchos datos para poder generar una red competente.

#### 4.7. Investigación práctica

Un ejemplo de aplicación de las inteligencias artificiales, se expone un trabajo de investigación realizado por Raúl Hera Diez como Trabajo de Fin de Máster, del Máster de Inteligencia Artificial, sobre las metodologías basadas en inteligencia artificial para facilitar la diagnosis de patologías estructurales relacionadas con la presencia de cemento de aluminato de calcio. Se centra en el sector de la construcción, en el ámbito de los sistemas estructurales. Específicamente, este contenido de aluminato de calcio puede resultar en altas resistencias del hormigón, por lo que vio un aumento en su utilización durante su dosificación.

El hormigón es una mezcla de cemento, arena, grava y agua, con proporciones de cada componente siendo variable al tipo de uso que se le va a destinar. Al introducir el cemento de aluminato de calcio (CAC), por sobre al tradicional cemento Portland, se presentaron unas variaciones en las propiedades del hormigón, dando lugar a problemas de durabilidad, generalmente relacionados con la temperatura, fragilidad frente a ciertos químicos como hidróxidos alcalinos, y la conversión o transformación de

los aluminatos cálcicos hidratados hexagonales en aluminatos cálcicos hidratados cúbicos.



**Ilustración 19. Degradación y exposición de la armadura de acero debido a aluminosis. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.**



**Ilustración 20. Derrumbe ocasionado por el aluminosis que ocurrió el 11 de noviembre de 1990 situado en un barrio de Barcelona. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.**

En su TFM, se desarrollan dos metodologías para la identificación del CAC, y la diagnosis de las patologías estructurales derivadas de la presencia de cemento aluminoso. Una de ellas, se basa en los datos del entorno, mientras que la otra, se centra en los datos intrínsecos o de aspecto. Por lo tanto, los objetivos principales de su trabajo de investigación son identificar el tipo de cemento para facilitar la diagnosis de la “aluminosis”, y divulgar las capacidades de la inteligencia artificial en el sector de la construcción.

En la actualidad el proceso de identificación del aluminosis sufre de dos problemas principales, el coste y el tiempo para obtener resultados. En este proceso de diagnosis se utilizan el test de la oxina o método BRE, que es un procedimiento químico, la observación microscópica con microscopía de luz transmitida y la microscopía electrónica o difracción de rayos X, como métodos principales. Todos estos son métodos que requieren tanto técnicos que recojan muestras en el sitio a estudiar, y de un trabajo de laboratorio para analizar las muestras con los métodos mencionados.

#### 4.7.1. Metodología con datos de entorno

La primera metodología que fue desarrollada se ha basado en la metodología con los datos del entorno. Estos datos se refieren a aquellos que se derivan de la situación o emplazamiento de la construcción. El primer conjunto de datos se extrae del histórico de expedientes realizados en su despacho de arquitectura e ingeniería. Se trata de un listado de emplazamiento y su correspondiente índice, si contiene cemento aluminoso o no. Posteriormente, se ha seleccionado por municipio y tipo de edificio con el fin de acotar el ámbito del trabajo, así que solo se ha trabajado en la ciudad de Barcelona y, específicamente, edificios residenciales.



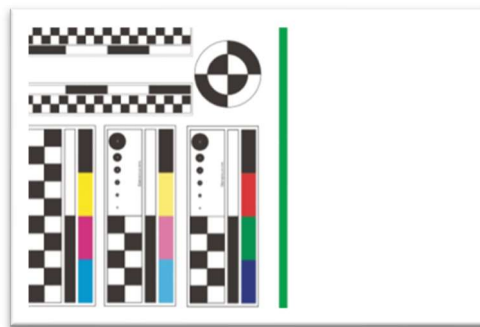
**Ilustración 21. Visualización de los datos recopilados por Raúl Heras y su despacho. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.**

El conjunto inicial de edificios consistió de 533 muestras etiquetadas, y se agregaron hasta 42 características o parámetros extraídos de repositorios de información públicos de Barcelona como el ayuntamiento, la generalitat, OpenDataBCN y la sede electrónica del catastro. Esto conllevó un proceso de extracción de datos, unificación de la información y determinación de variables clave que habiliten este proceso, en conjunto con varios pequeños programas informáticos que permitieron la automatización del proceso. Algunas de estas características obtenidas se destacan: la edad del edificio, la altura del edificio, el número de viviendas, la clasificación de eficiencia energética obtenida, y otros datos de carácter socioeconómico y político.

Finalmente, sobre el conjunto obtenido, se aplicaron diferentes algoritmos de clasificación supervisado como: regresión lógica, árbol de decisión, bosque aleatorio, K-vecinos, potenciación del gradiente, máquinas de vector soporte y Naive Bayes, con el fin de evaluar el éxito de la identificación, y conocer las variables que aportan mejor correlación con la presencia de CAC.

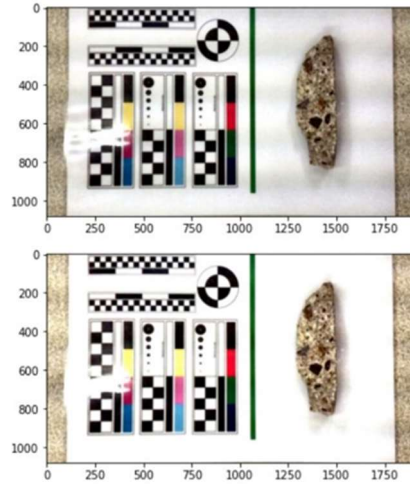
#### 4.7.2. Metodología con datos intrínsecos

Este método plantea un enfoque totalmente diferente al primero. Se centra en los datos intrínsecos de cada muestra, es decir, su aspecto. Además, los técnicos expertos en diagnóstico estructurales son capaces de deducir la posible presencia de CAC únicamente basado en sus experiencias profesionales, por lo que, se utilizará como la base para el aprendizaje de la red neuronal convolucional. El punto de partida es una muestra de hormigón extraída del techo de las viviendas, y la fotografía que se capta de la vigueta expuesta. Gran parte del trabajo se ha centrado en el diseño del experimento y en la generación de fotografías como valores de entrada a las redes neuronales clasificadoras. Esto incluye la creación de dianas cromáticas o plantillas forenses, el desarrollo del protocolo de obtención de las fotografías y la planificación temporal de todas las etapas del experimento.



**Ilustración 22.** Plantilla forense de referencia a la muestra tomada in-situ. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.

La transformación y procesado de las series fotográficas se han desarrollado en dos fases independientes una de otra. En la fase 1, se han mejorado los aspectos de escala y perspectiva, mediante métodos de transformación, que se fueron almacenando para evaluar el éxito atribuido a cada uno. Por otro lado, en la fase 2, se aplicaron correcciones como la ecualización del histograma, el desenfoque Gaussiano, la corrección Gamma, el ajuste de balance de color, el ajuste de intensidad, entre otros. Cada uno de ellos se codificaron y se combinaron en diferentes secuencias de pre procesado, y cada combinación, con una secuencia de pre procesado diferente. Posteriormente, se clasifican tres conjuntos de datos diferenciados: las fotografías de la cara exterior de la muestra, la cara interior, y las del material pulverizado.



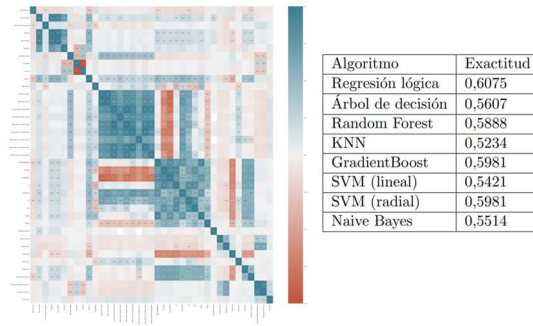
**Ilustración 23. Muestras de hormigón, original y fotografía corregida. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.**



**Ilustración 24. Material pulverizado, para la predicción del aluminosis basado en su color. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.**

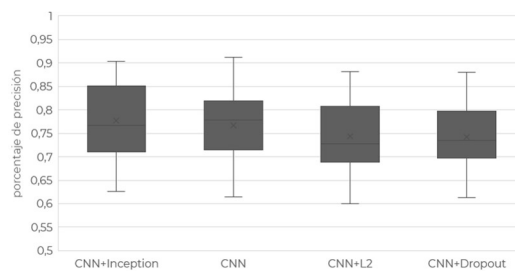
Finalmente, se diseñó la red neuronal convolucional entrenada a partir de imágenes reducidas de 300x300 píxeles. Cada iteración completa de entrenamiento conllevó un tiempo de entre cinco y veinte minutos. También, se generaron versiones mejoradas de la red original, con el fin de obtener aún mejores valores de exactitud, además de la utilización o no del aumento artificial de datos. Se cierra el desarrollo del método con el análisis comparativo de los resultados, desde las alternativas de pre procesado en la fase 1, hasta las diferentes versiones de la red neuronal. Este análisis se ha realizado de forma general, pero también independizando cada una de las series originales de fotografías.



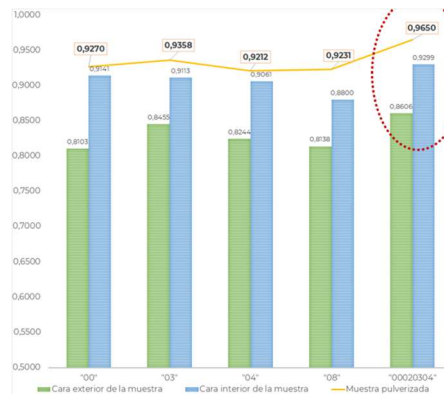


**Ilustración 25.** Gráfica de correlación de variables, y porcentajes de exactitud según el algoritmo utilizado para el método con datos de entorno. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.

Para el entrenamiento de los diferentes escenarios diseñados, se acumuló un tiempo de entrenamiento de 4 semanas, obteniendo un porcentaje de acierto de hasta un 60,75% mediante el método de datos de entorno, y de hasta 96,50% aproximadamente mediante el método de datos intrínsecos, en contraste al 99% de acierto que corresponde a los técnicos expertos.



**Ilustración 26.** Porcentaje de precisión según la red neuronal utilizada para el método con datos intrínsecos. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.



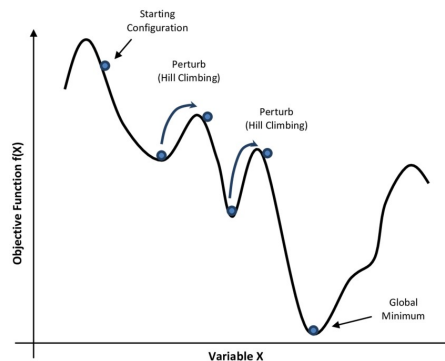
**Ilustración 27.** Porcentaje de precisión según el tipo de muestra analizada para el método con datos intrínsecos. Fuente: TFM, Raúl Heras, 2023.

Este trabajo aplica una herramienta muy poderosa, como la inteligencia artificial, al sector de la construcción, donde todavía se desarrollan actividades de legado y tradición, y que podría beneficiarse en gran medida. Así como se pueden realizar análisis de procesos patológicos, esto también se puede aplicar a muchas otras actividades, como estudios de mercado, valoraciones económicas y sistemas inteligentes de domótica, para nombrar algunos.

#### 4.8. Algoritmo de búsqueda de mínimos o máximos

El primer algoritmo de optimización imaginable, sería tal que avance en la dirección donde el valor a optimizar sea menor, en caso de un mínimo, o mayor, en caso de un máximo. Imaginando una curva con muchos altos y bajos en un gráfico cartesiano de coordenadas, veremos al algoritmo encontrando valores cada vez más optimizados, hasta que llega a un mínimo o máximo, según sea el caso. El problema principal, de esta clase de algoritmos, es que es muy difícil encontrar el mínimo o máximo global de la función, donde el algoritmo puede encontrar un mínimo local y concluir que ya no puede optimizar de ninguna otra manera, mientras que existen muchos otros mínimos locales y el mínimo global, que presentarían mejores opciones.

Por esto mismo, se pueden generar muchos algoritmos mejorados, partiendo del mismo concepto como base. Uno muy interesante es el llamado recocido simulado, del inglés Simulated Annealing, que toma como inspiración el recocido de metales para su temperado. El concepto principal detrás de este algoritmo, es que permite encontrar valores peores al original, con la esperanza de que pueda encontrar el mínimo o máximo global, y salir de los locales, en caso de que se los encuentre. Para esto, definimos un valor de temperatura, que definirá la probabilidad de que el algoritmo tome valores peores al original. La temperatura inicial se configura a un valor alto, para facilitar este proceso, y con cada iteración de procesamiento del algoritmo, la temperatura se reduce, para que a medida que avance el proceso de optimización, tome menos riesgos y termine con un valor satisfactorio.



**Ilustración 28.** Ejemplo del algoritmo Simulated Annealing en funcionamiento, con el objetivo de ignorar mínimos locales y encontrar el mínimo global. Fuente: Fernando Sancho Caparrini, 2019.

## 4.9. Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos toman inspiración de la evolución genética, para simular una selección “natural” artificial. Se produce una estructura de instancia a evolucionar, con un conjunto de propiedades o genes, que lo componen. Al inicio del proceso, se genera una población de instancias al azar, que tengan propiedades diferentes entre sí, y conseguir simular una amplia selección de instancias. Durante una época o iteración, el tiempo que toma en completar la acción a evolucionar, se mide la efectividad de cada instancia y su conjunto de propiedades, y se les asigna un valor de rendimiento o también conocido como Fitness. Finalmente, se seleccionan las instancias con mejor rendimiento, para transmitir sus propiedades a la siguiente generación.

Al final de cada época o iteración, se juntan las mejores instancias en pares, con el fin de mezclar sus propiedades o genes, y crear un nuevo conjunto de propiedades que heredará la siguiente generación. De estos dos conjuntos pareja, se conservan aquellas propiedades que coincidan entre las dos instancias, y se genera un valor al azar para aquellas propiedades en las que difieran. Además, se permite una mutación de los genes para introducir cambios en la población de genes y evitar la estagnación de la evolución.

Es así, que, durante un proceso de cientos y miles de épocas, se consigue evolucionar la distribución de propiedades más efectiva para la actividad a desarrollar. En muchos casos, también se lleva a cabo un evento de extinción, con el objetivo de eliminar linajes poco efectivos. Se separa una población de élite, que seguirá con el proceso de evolución, y se descarta el resto. De esta manera, se consigue simular la mejor condición de parámetros necesarios para llevar a cabo una actividad.

## 4.10. Potencial

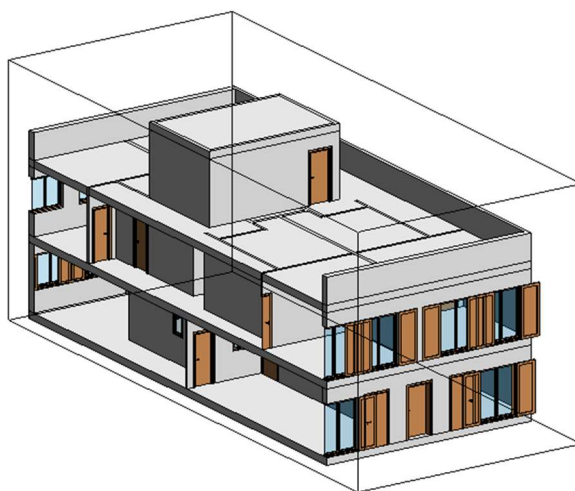
La inteligencia artificial resulta ser una herramienta muy poderosa y flexible, que una vez aplicada y optimizada al sector de la construcción, llevará a un cambio considerable al diseño, ejecución y mantenimiento de los edificios. Ya se vieron cambios radicales en la eficiencia energética con sistemas domóticos programables, pero todavía tienen un potencial de aplicación mucho más amplio. Dentro de este trabajo, se toma como punto de partida, la utilización futura de algoritmos de optimización como los desarrollados anteriormente, con el objetivo de poder optimizar no sólo un parámetro de los materiales analizados, sino que todos ellos en conjunto, tomando en cuenta consideraciones de sus dimensiones, propiedades técnicas, normativas que las regulan, y su impacto ambiental, económico y social dentro del concepto de sostenibilidad.

## 5. Proceso de diseño

En resumen, el proceso de diseño consiste en llevar un proyecto de construcción desde la creación de un modelo 3D del edificio, importarlo a un programa de presupuestos, y generar los datos para cada parte del proyecto. Finalmente, se crea una base de datos para optimizar el proyecto.

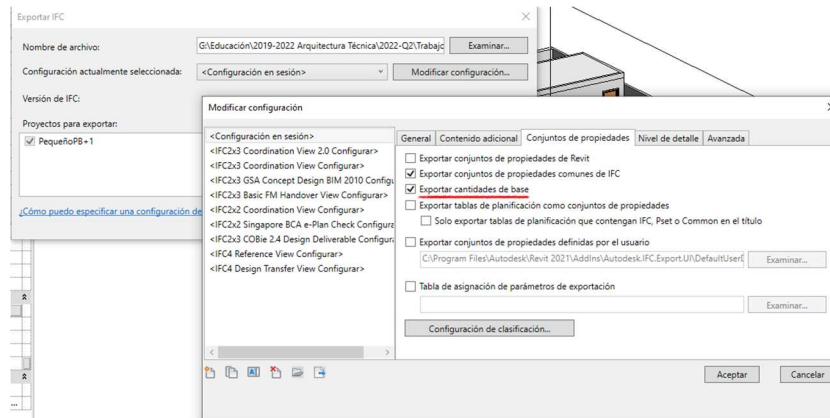
### 5.1 Preparación del modelo 3D

Como punto de partida para la herramienta de análisis, se debe definir el edificio gráficamente, con la intención de poder extraer las mediciones de los elementos que lo componen. Esto es especialmente útil en conjunto con otros programas, que utilizan las propiedades que se exportan del archivo. Para ello, es importante utilizar un formato reconocible por estos programas externos a nuestro programa de modelado 3D, y dentro del sistema de cooperación BIM, se define la extensión IFC para estandarizar estos formatos incompatibles.



**Ilustración 29.** Modelo 3D simplificado de un edificio de l'Eixample, Barcelona, para usar como ejemplo en el proceso de elaboración de la herramienta. Fuente: Autodesk Revit, Propia, 2023.

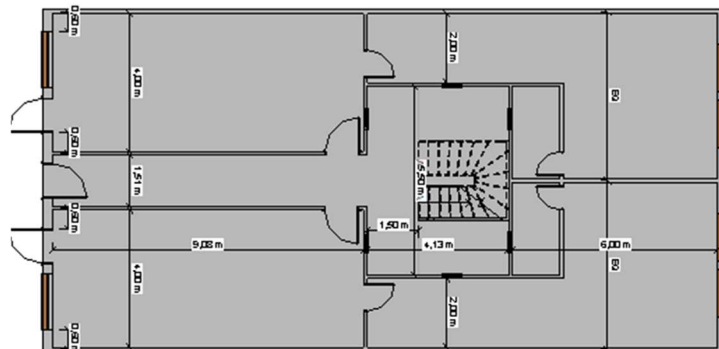
Dentro del programa utilizado, es imprescindible verificar las opciones y configuraciones de exportado a el formato IFC ya que, en el programa utilizado en esta instancia, no siempre lo hace de manera que contenga toda la información que queremos extraer. Para Revit, debemos habilitar la opción que nos permite exportar la información de dimensiones y mediciones de los objetos 3D.



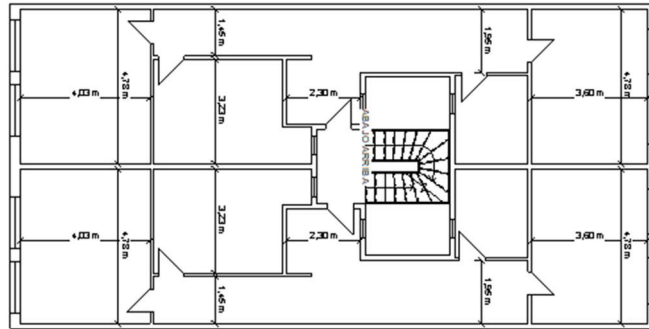
**Ilustración 30. Configuración de archivos IFC al exportar, exportar con cantidades base para obtener las mediciones del modelo. Fuente: Autodesk Revit, propia, 2023.**

## 5.2. Generación de datos desde modelos 3D

Con el modelo 3D creado en el programa de Autodesk, Revit. El objetivo al crear este edificio fue la habilidad de crear un proyecto de obra, con todas las partidas necesarias y todos los datos requeridos, rápidamente. Esto permitió iterar con diferentes combinaciones de sistemas constructivos y materiales, para poder generar una mayor cantidad de datos para la base de datos creada a partir de estos. Lo más importante, es la creación de un modelo con medidas reales y elementos iguales o equivalentes a los utilizados para la construcción del edificio. Esto permite la utilización de las medidas base, que tiene el modelo como propiedades de cada objeto 3D. Una vez definido el edificio, se debe convertir el formato del modelo a IFC, como es discutido en el proceso de diseño, que permite importarlo en una alta cantidad de programas que también lo aceptan, aparte de los mencionados previamente.

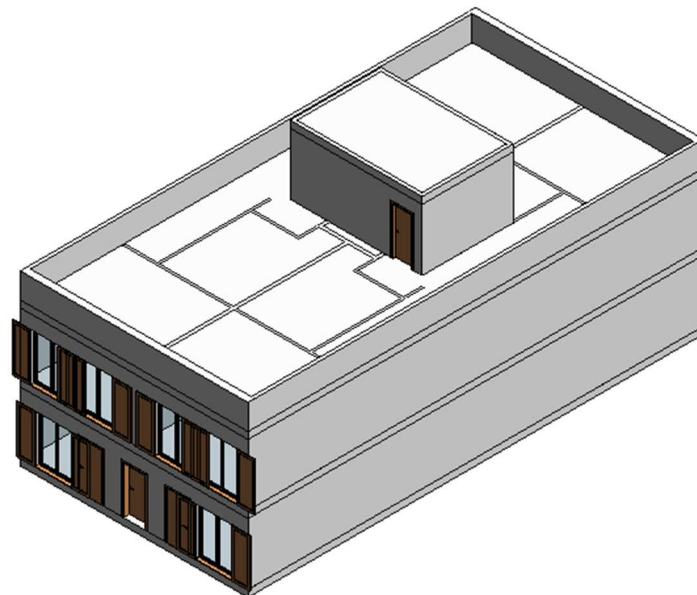


**Ilustración 31. Planta baja, modelo 3D simplificado para el desarrollo de la herramienta de análisis. Fuente: Autodesk Revit, propia, 2023.**



**Ilustración 32. Planta primera, modelo 3D simplificado para el desarrollo de la herramienta de análisis. Fuente: Autodesk Revit, propia, 2023.**

Durante el desarrollo de la herramienta, se utilizaron estas medidas base, mencionadas anteriormente, para vincular estos objetos con las partidas seleccionadas de la base de datos de BEDEC. También, es posible ampliar la funcionalidad del programa, para que exporte y procese estas medidas para generar las definiciones de sistemas constructivos más complejos que solo los componentes del edificio por separado. Esto podría ayudar a generar, automáticamente, elementos como la fachada, compuesta de la superficie de muro de fachada, las capas que componen ese muro, la superficie de ventanas, e incluso utilizar la función de Revit para el cálculo del recorrido del sol, para generar las sombras o cantidad de energía solar que recibe ese elemento, entre otras aplicaciones.



**Ilustración 33. Vista isométrica, modelo 3D simplificado para el desarrollo de la herramienta de análisis. Fuente: Autodesk Revit, propia, 2023.**

Este tipo de modelos requieren de una inversión inicial alta de tiempo y esfuerzo, pero una vez terminados, permiten realizar muchas tareas de manera semiautomática o automática, cortando gran cantidad de tiempo dedicado a estas actividades.

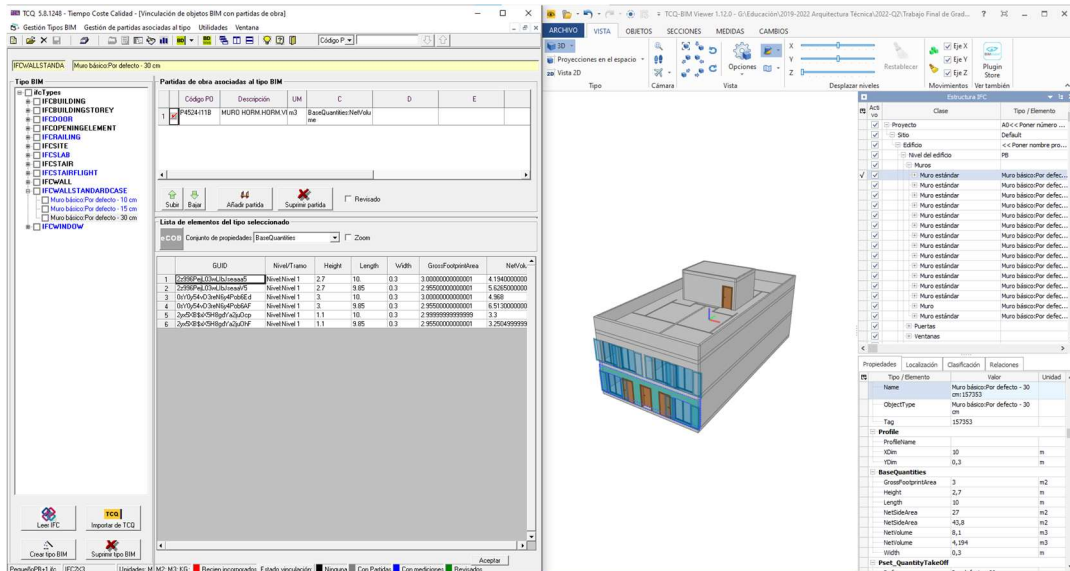


Ilustración 34. Programa TCQ, en ventana de vinculación de objetos 3D con partidas de obra, y BIM Viewer, visualizador 3D integrado al TCQ. Fuente: TCQ, propia, 2023.

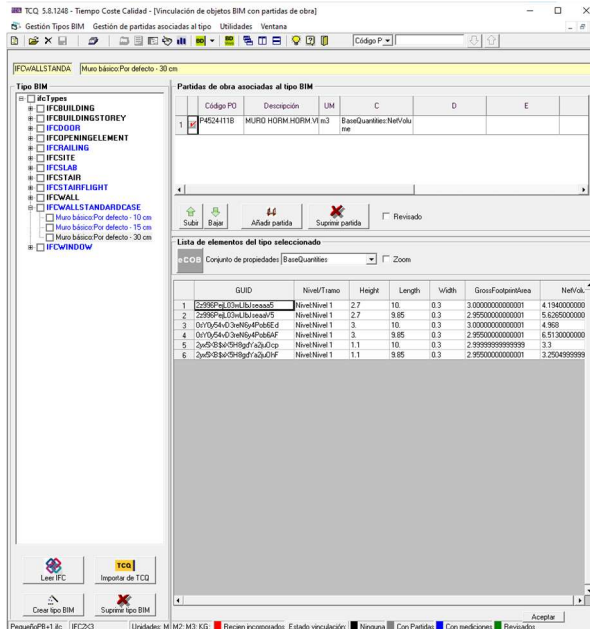


Ilustración 35. Vinculación de objetos 3D con partidas de obra, dónde se visualiza una estructura jerárquica del edificio, y el listado de elementos pertenecientes a cada categoría, así como también las partidas que se vinculan. Fuente: TCQ, propia, 2023.

### 38 Herramienta de análisis

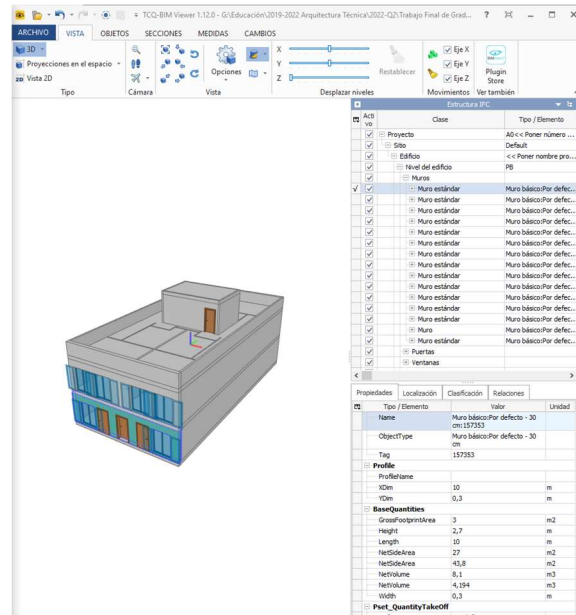


Ilustración 36. Visor de modelos 3D, BIM Viewer, dónde se visualiza el modelo, la jerarquía de elementos que lo componen y las propiedades de cantidades base. Fuente: TCQ-BIM Viewer, propia, 2023.

### 5.3. Presupuestos y vinculación BIM

Una vez dentro del programa de presupuesto (TCQ), se pueden definir muchos aspectos para la implementación de un proyecto como el banco de precios, el presupuesto de construcción, el plan de trabajo, el monitoreo económico y la calidad, pero los dos primeros ya son suficientes para extraer los datos deseados del modelo generado y de la base de datos BEDEC.

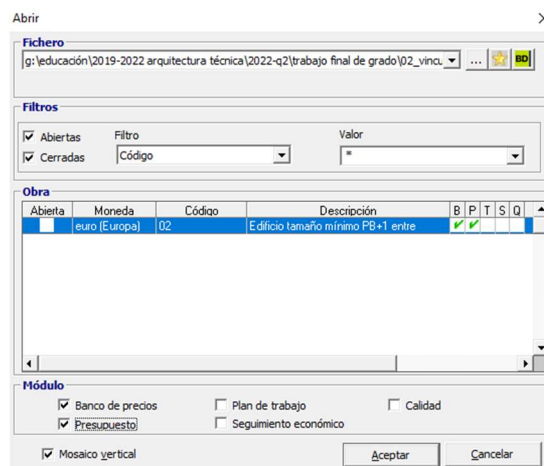


Ilustración 37. Ventana de configuración de proyecto para la vinculación de partidas con objetos 3D. Fuente: TCQ, propia, 2023.



Al abrir el programa y crear un nuevo proyecto de construcción, seleccionamos los elementos necesarios para representar el edificio estudiado de la base de datos, y generamos una estructura de elementos de acuerdo con la clasificación deseada para el proyecto específico. Luego, vinculamos estos elementos a los objetos BIM del archivo IFC, un proceso facilitado por TCQ y su herramienta integrada, BIM Viewer, que nos permite visualizar los objetos 3D y vincularlos a elementos de construcción dentro de nuestro presupuesto. Además, la base de datos BEDEC facilita el proceso de adaptación, actualización o comparación del banco de precios inicial, que en este caso se utiliza para importar datos ambientales. El banco debe exportarse al formato FIEBDC (BC3), y dentro de Adapta-web, una herramienta BEDEC, se adapta a los parámetros deseados para el trabajo.

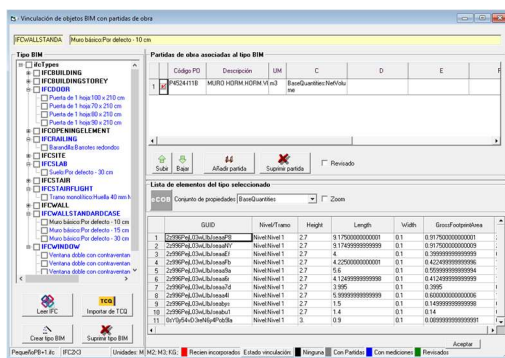


Ilustración 38. Ventana de vinculación de objetos BIM con partidas de obra, vinculado al modelo 3D en formato IFC. Fuente: TCQ, propia, 2023.

Finalmente, dentro de TCQ, se puede utilizar para modificar o actualizar el propio banco, o en este caso, importar datos ambientales a través de la gestión ambiental, o el programa TCQ-GMA.

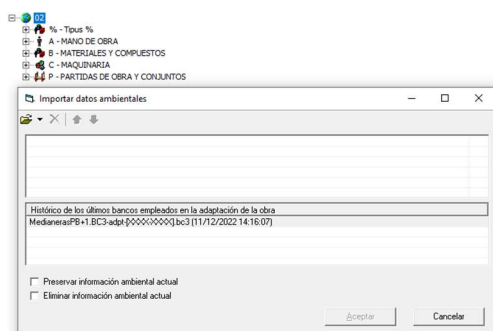


Ilustración 39. Importar datos ambientales a partir de un banco de precios adaptado en Adapta-web. Fuente: TCQ, propia, 2023.

### 5.4. Base de datos

En este punto del proceso, dentro del proyecto TCQ, los elementos de construcción contienen datos detallados sobre mediciones, precios unitarios y datos ambientales asociados con cada elemento. A partir de esto, se pueden generar varios informes con datos numéricos por artículo y gráficos para la visualización de datos. Sin embargo, para desarrollar un programa para analizar y optimizar elementos de construcción, los datos deben organizarse de manera flexible.

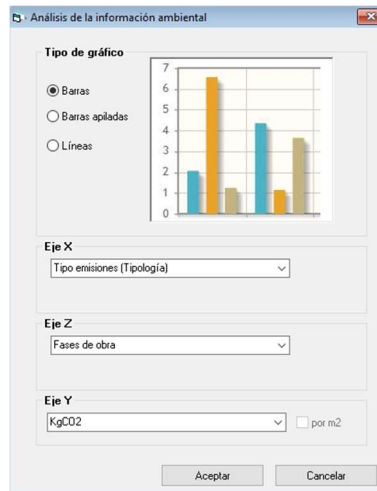


Ilustración 40. Ventana para la generación de gráficas de análisis de la información ambiental asociada al proyecto de presupuestos. Fuente: TCQ-GMA, propia, 2023.

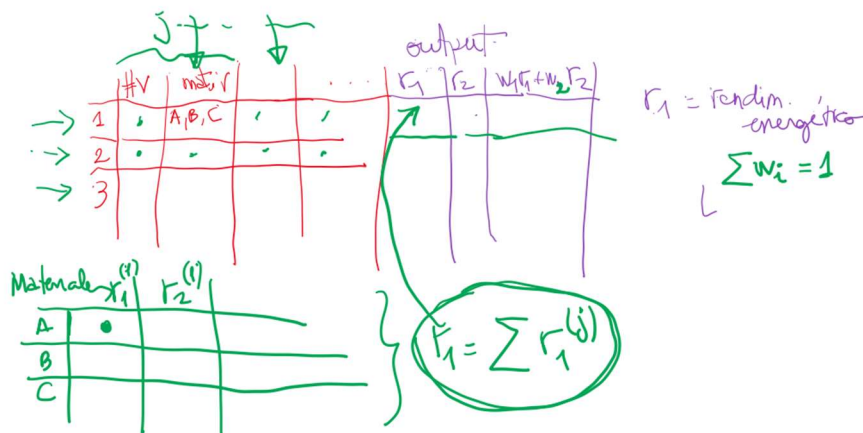


Ilustración 41. Diseño de base de datos con la ayuda del Profesor Antoni Guillamon, de Inteligencia artificial aplicada a la construcción y departamento de Matemáticas. Fuente: Reunión, Antoni Guillamon, propia, 2022.

La base de datos debe permitir la fácil adición de nuevos valores y nuevos parámetros asociados a estos valores, y también debe definir ciertos filtros para la automatización del proceso a través de algoritmos o la creación de una inteligencia artificial dedicada a la optimización del valor. Para ello, definimos conjuntos de valores con: una clave o código utilizado para representar elementos de la base de datos y facilitar las operaciones de búsqueda (formato X000-0000); una definición del elemento, que se utiliza para restringir o filtrar búsquedas (descripción, dimensiones, características o propiedades del elemento); y parámetros, que son los valores a optimizar, extraídos de bases de datos (emisiones de carbono, energía incorporada, materiales reciclados).

| DEFINICIÓN |      |                                       |         |           |              |              |
|------------|------|---------------------------------------|---------|-----------|--------------|--------------|
| Código     | U.I. | Descripción                           | Precio  | Categoría | Codificación | Dependencias |
| B011-05ME  | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad de r | 1.5600  | Material  | LÍQUIDOS     | -            |
| B03L-05N7  | t    | Arena de cantera para morterosCriteri | 17.9300 | Material  | ÁRIDOS       | -            |

**Ilustración 42. Definición del elemento de base de datos, para la asistencia a la búsqueda de partidas, materiales y maquinaria. Fuente: Excel, propia, 2023.**

| DIMENSIÓN |      |         | PROPIEDADES |      |      |
|-----------|------|---------|-------------|------|------|
| Ancho     | Alto | Espesor | P1          | P2   | P3   |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |

**Ilustración 43. Propiedades específicas al elemento, por un lado, dimensión (si se requiere) y, por otro, parámetros técnicos del elemento como resistencia, elasticidad, durabilidad, etc. Fuente: Excel, propia, 2023.**

| ENERGÍA INCORPORADA (MJ) |              |         |        | EMISIÓN DE CO2eq (KgCO2) |              |        |        |
|--------------------------|--------------|---------|--------|--------------------------|--------------|--------|--------|
| FABRICACIÓN              | CONSTRUCCIÓN | TOTAL   | RA1    | FABRICACIÓN              | CONSTRUCCIÓN | TOTAL  | RA2    |
| 5.0300                   | 0.0000       | 5.0300  | 0.0011 | 0.2500                   | 0.0000       | 0.2500 | 0.0003 |
| 51.1200                  | 0.0000       | 51.1200 | 0.0108 | 2.6500                   | 0.0000       | 2.6500 | 0.0029 |

**Ilustración 44. Datos ambientales de energía incorporada y emisiones de carbono del elemento. Fuente: Excel, propia, 2023.**

| MASA (Kg) |               | RECICLAJE (Kg) |             |              |        |        |
|-----------|---------------|----------------|-------------|--------------|--------|--------|
| TOTAL     | MATERIA PRIM. | %              | PRE-CONSUMO | POST-CONSUMO | TOTAL  | RA3    |
| 1000.0000 | 1000.0000     | 100%           | 0.0000      | 0.0000       | 0.0000 | 1.0000 |
| 1000.0000 | 1000.0000     | 100%           | 0.0000      | 0.0000       | 0.0000 | 1.0000 |

**Ilustración 45. Datos ambientales de masa y material reciclado utilizado del elemento. Fuente: Excel, propia, 2023.**

Al crear esta base de datos con estos datos estructurados, podemos empezar a pensar en cómo procesar los datos y evaluar el impacto ambiental de un proyecto de

## 42 Herramienta de análisis

construcción. Para hacer esto, primero necesitamos estandarizar los valores, de modo que los diversos parámetros se puedan utilizar en la misma función de la optimización. Transformamos valores con varias unidades de medida en valores adimensionales, con un rango de cero a uno, donde cero indica menos impacto y uno indica mayor impacto. Y, como esto se calcula a partir de los datos encontrados en la base de datos, podemos asegurar que, al buscar un elemento más eficiente, los elementos con un menor valor de impacto serán los más eficientes.

| Código    | ENERGÍA INCORPORADA (MJ) |              |           |        | EMISIÓN DE CO2eq (KgCO2) |              |          |        |
|-----------|--------------------------|--------------|-----------|--------|--------------------------|--------------|----------|--------|
|           | FABRICACIÓN              | CONSTRUCCIÓN | TOTAL     | RA1    | FABRICACIÓN              | CONSTRUCCIÓN | TOTAL    | RA2    |
| B011-05ME | 5.0300                   | 0.0000       | 5.0300    | 0.0011 | 0.2500                   | 0.0000       | 0.2500   | 0.0003 |
| B03L-05N7 | 51.1200                  | 0.0000       | 51.1200   | 0.0108 | 2.6500                   | 0.0000       | 2.6500   | 0.0029 |
| B054-06DH | 4.7800                   | 0.0000       | 4.7800    | 0.0010 | 0.8800                   | 0.0000       | 0.8800   | 0.0010 |
| B055-0661 | 3949.1600                | 0.0000       | 3949.1600 | 0.8324 | 925.2000                 | 0.0000       | 925.2000 | 1.0000 |
| B055-067M | 3949.1600                | 0.0000       | 3949.1600 | 0.8324 | 925.2000                 | 0.0000       | 925.2000 | 1.0000 |
| B059-06FO | 0.0370                   | 0.0000       | 0.0370    | 0.0000 | 0.0023                   | 0.0000       | 0.0023   | 0.0000 |
| B062-07PL | 1.8400                   | 0.0000       | 1.8400    | 0.0004 | 0.1700                   | 0.0000       | 0.1700   | 0.0002 |
| B06E-11H5 | 1187.9400                | 0.0000       | 1187.9400 | 0.2504 | 259.7200                 | 0.0000       | 259.7200 | 0.2807 |
| B06E-12DA | 1090.6300                | 0.0000       | 1090.6300 | 0.2299 | 236.6600                 | 0.0000       | 236.6600 | 0.2558 |
| B07F-0LSZ | 2481.1300                | 0.0000       | 2481.1300 | 0.5229 | 521.8000                 | 0.0000       | 521.8000 | 0.5640 |
| B07F-0LT4 | 1071.6200                | 0.0000       | 1071.6200 | 0.2259 | 235.6800                 | 0.0000       | 235.6800 | 0.2547 |
| B07F-0LT5 | 1579.3900                | 0.0000       | 1579.3900 | 0.3329 | 355.6600                 | 0.0000       | 355.6600 | 0.3844 |
| B07F-0LT6 | 2782.5300                | 0.0000       | 2782.5300 | 0.5865 | 539.7100                 | 0.0000       | 539.7100 | 0.5833 |

**Ilustración 46.** Los valores totales de cada parámetro son contrastados con el valor total máximo, por lo que resulta en cero cuando el valor es más pequeño, y uno cuando el valor es el máximo encontrado. Fuente: Excel, propia, 2023.

## 5.5. Vinculación con herramienta ESPREH

Con acceso a esta herramienta, disponible en la web del ITeC, se podrá tener en cuenta mejoras a partir de los datos de obra que hemos recopilado hasta este momento. La manera en la que se opera ESPREH, es a modo comparativo, con el estado inicial del edificio, como ha salido del TCQ, y el estado final del edificio, que será generado por la herramienta de análisis y optimización actualmente en desarrollo. En este momento, la vinculación entre estas herramientas es manual, pero se considera en el desarrollo de la herramienta una alta compatibilidad entre las dos, ya que usan la misma base de datos como punto de partida, BEDEC Sostenibilidad.

ESPREH pretende facilitar el pre dimensionado de los principales parámetros de rehabilitación energética que puede dar acceso a la obtención de subvenciones de las campañas que se han iniciado a partir de los fondos Next Generation Europe. Al igual que la herramienta en desarrollo, no sustituye a los procesos de redacción de proyectos ni la certificación posterior a la ejecución de una obra, pero asume una metodología de cálculo basada en la normativa vigente, y por ello, los valores de pre dimensionado tendrán una relación de proximidad con los de la certificación.

Al utilizarlas en conjunto, se puede lograr generar un flujo de trabajo más completo y refinado. Los datos iniciales son generados automáticamente al definir el proyecto en

TCQ, que es vinculado al modelo 3D como ha sido mencionado. Posteriormente, al analizar el edificio, se optimizarán los materiales u otros elementos del edificio en base a un parámetro en concreto, como las emisiones de carbono o los precios de los elementos, pero también la optimización de los materiales alrededor de una propiedad técnica del edificio como podría ser la resistencia del hormigón. Y, además de conseguir un análisis de mejora de la construcción del edificio, se puede obtener información sobre la mejora en eficiencia energética que generan estos cambios, durante la fase de uso del edificio.

La herramienta desarrollada tiene como objetivo realizar un análisis completo del edificio en todas sus fases del ciclo de vida, considerando no solo los elementos constituyentes del edificio, sino también los sistemas constructivos más complejos, como los analizados en ESPREH, para el cálculo de eficiencia energética. El uso paralelo de estas herramientas permite ampliar la visualización del impacto de la optimización de ciertos materiales, ya que permite ver la reducción que tienen las hipótesis de edificio optimizado en demanda energética y uso de energía primaria no renovable, teniendo en cuenta las fachadas, cubierta, muros e instalaciones del edificio.

| Reducció demanda |        |
|------------------|--------|
| Calefacció       | 44.29% |
| Refrigeració     | 66.07% |
| TOTAL            | 48.17% |

| Reducció energia primària no renovable |        |
|--|--------|
| Calefacció                             | 83.66% |
| Refrigeració                           | 68.75% |
| ACS                                    | 80.64% |
| TOTAL                                  | 82.26% |

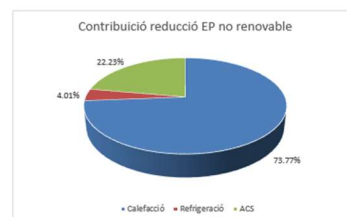
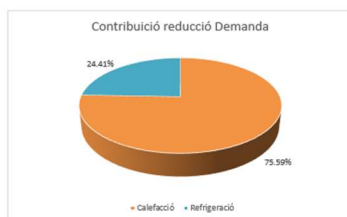
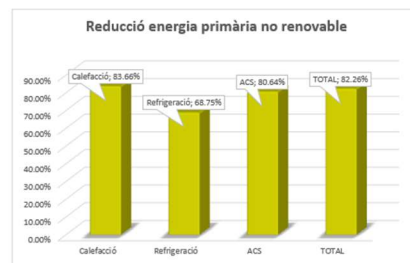
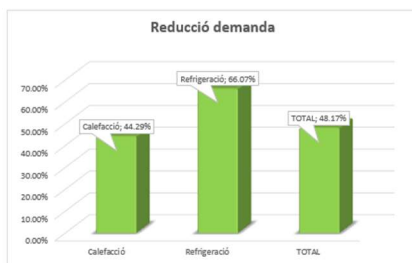


Ilustración 47. Visualización de los resultados calculados a partir de los supuestos de edificio inicial y final. Fuente: ESPREH, ITeC, 2023.

## 5.6. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es la parte de la herramienta con la que interactúa el usuario final. Es importante que sea un proceso fácil y rápido, y que provea la mayor cantidad de

#### 44 Herramienta de análisis

información posible. Para empezar a analizar el edificio, se definirán unas variables asociadas a cada parámetro a optimizar, asignándoles un peso, que hace referencia a cuanto importancia tiene en el cálculo final de sostenibilidad. Con estos valores podemos controlar qué parámetros tienen más importancia, subjetivamente.

|                |      |                                      |   |
|----------------|------|--------------------------------------|---|
| Wa1            | 0.33 | Energía embebida                     | de menos energía embebida a más [0-1]       |
| Wa2            | 0.33 | Emisiones de CO2eq                   | de menos emisiones de carbono a más [0-1]   |
| Wa3            | 0.33 | Utilización de materiales reciclados | de más utilización reciclados a menos [0-1] |
| We1            | 1.00 | Precio de los componentes            | de menos precio unitario a más [0-1]        |
| We2            | 0.00 |                                      |   |
| We3            | 0.00 |                                      |   |
| Ws1            | 1.00 | Trabajo generado                     | de menos trabajo generado a más [0-1]       |
| Ws2            | 0.00 |                                      |   |
| Ws3            | 0.00 |                                      |   |
| Wamb           | 0.33 |                                      | Ramb 0.00                                   |
| Weco           | 0.33 |                                      | Reco 0.00                                   |
| Wsoc           | 0.33 |                                      | Rsoc 0.00                                   |
| Sostenibilidad | 0.00 |                                      |   |

**Ilustración 48. Pesos asignados a cada parámetro individual, y cada categoría de parámetros (ambiental, económico y social) para el cálculo final de sostenibilidad. Fuente: Excel, propia, 2023.**

Una vez definido el criterio de optimización, el usuario debe importar los datos del proyecto desarrollado en TCQ. Dentro del programa de presupuestos, exportamos a Excel dos conjuntos de datos: el presupuesto de obra, sin separar por capítulos de obra; y el banco o justificación de elementos. Dentro del Excel, utilizamos estos nuevos archivos para poblar dos tablas. La primera, para definir el edificio, que contiene la referencia de cada partida de obra (formato X000-0000) en uso por el edificio a estudiar, y la medición asociada a cada una de ellas. Además, la segunda tabla, que insertamos dentro de la interfaz principal.

| PRESUPUESTO                            |   |            |    |  |        |           |                   |
|--|---|------------|----|--|--------|-----------|-------------------|
|  |   |            |    |  | Precio | Medición  | Importe           |
| 01.04                                  | 1 | P4524-I118 | m3 | Muro de hormigón armado, para dejar el hormigón visto con una cuantía  | 494.08 | 129.691   | 64,077.73         |
| 01.04                                  | 2 | P4P5-H9AY  | m  | Losa de escalera prefabricada de hormigón con escalón de 35x15 cm, co  | 81.37  | 10.246    | 833.72            |
| 01.04                                  | 3 | P459B-CWEQ | m2 | Forjado nervado unidireccional de 22+5 cm, con casetones de mortero d  | 85.80  | 1,258.258 | 107,958.54        |
| 01.14                                  | 1 | PA16-H8VQ  | m2 | Desmontaje y montaje de marco y hojas de puerta de madera maciza, de   | 155.27 | 54.810    | 8,510.35          |
| 01.14                                  | 2 | PA18-8212  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 759.74 | 4.000     | 3,038.96          |
| 01.14                                  | 3 | PA18-8290  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 917.23 | 4.000     | 3,668.92          |
| 01.14                                  | 4 | PA18-819M  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 206.24 | 12.000    | 2,474.88          |
| 01.29                                  | 1 | PB11-DIZS  | m  | Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdeno de designació | 266.30 | 25.407    | 6,765.88          |
| <b>IMPORTE TOTAL DEL PRESUPUESTO :</b> |   |            |    |  |        |           | <b>197,328.98</b> |

**Ilustración 49. Archivo Excel exportado directo de TCQ, presupuesto de obra. Fuente: Excel/TCQ, propia, 2023.**

| Justificación de elementos |           |      |   |       |                 |                   |            |
|----------------------------|-----------|------|---|-------|-----------------|-------------------|------------|
| Nº                         | Código    | U.M. | Descripción   |       |                 | Precio            |            |
| <b>Elemento compuesto</b>  |           |      |   |       |                 |                   |            |
|                            | B07F-OLT4 | m3   | Mortero de cemento pórtland con caliza CEM II/B-L y arena, con 250 kg/m3 de cemento, con una proporción en volumen 1:6 y 5 N/mm2 de |       | Rend.: 1.000    |                   | 80.95      |
| <b>Mano de obra</b>        |           |      |   |       |                 |                   |            |
|                            | A0E-000A  | h    | Peón especialista   | 1.000 | /R x 22.29000 = | 22.29000          |            |
| Subtotal mano de obra      |           |      |   |       |                 |                   | 22.29000   |
| <b>Maquinaria</b>          |           |      |   |       |                 |                   |            |
|                            | C176-00FX | h    | Hormigonera de 165 l  | 0.700 | /R x 1.78000 =  | 1.24600           |            |
| Subtotal maquinaria        |           |      |   |       |                 |                   | 1.24600    |
| <b>Material</b>            |           |      |   |       |                 |                   |            |
|                            | B055-067M | t    | Cemento pórtland con caliza CEM I   | 0.250 | x 110.61000 =   | 27.65250          |            |
|                            | B03L-05N7 | t    | Arena de cantera para morterosCri   | 1.630 | x 17.93000 =    | 29.22590          |            |
|                            | B011-05ME | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad  | 0.200 | x 1.56000 =     | 0.31200           |            |
| Subtotal material          |           |      |   |       |                 |                   | 57.19040   |
| Coste directo              |           |      |   |       |                 |                   | 80.72640   |
|                            |           |      |   |       |                 | Gastos auxiliares | 1 % 0.2229 |
| Total                      |           |      |   |       |                 |                   | 80.94930   |

**Ilustración 50.** Archivo Excel exportado directo de TCQ, justificación de elementos de obra. Fuente: Excel/TCQ, propia, 2023.

La cantidad de columnas, dentro del Excel, que ocupan estas nuevas tablas es la misma no importa el tamaño de la obra desarrollada. Esto permite desarrollar una plataforma que procese los datos automáticamente una vez importados, con la menor cantidad de intervención de parte del usuario final. Habrá dos funciones a llevar a cabo, alrededor de esta segunda tabla: filtrar y organizar la tabla para su mejor visualización; y realizar búsquedas a la base de datos utilizando los códigos o llaves de cada partida. Además, se toman las mediciones de la primera tabla, para facilitar la visualización.

|  | Código | U.M. | Descripción | Precio | Medición | Trabajo | ✓ | Código | %     |
|--|--------|------|-------------|--------|----------|---------|---|--------|-------|
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |
|  |        |      |             |        |          |         | 0 | -      | 0.00% |

**Ilustración 51.** Interfaz de inserción de datos, entre columnas "Código" y "Precio". La primera columna realiza un filtrado automático de los datos, marcando las filas con códigos válidos y distinguiendo entre códigos principales y secundarios. Fuente: Excel, propia, 2023.

Esta división de los datos no es completamente necesaria para el desarrollo de esta herramienta, pero trae dos ventajas para la facilidad del uso y escalabilidad del proyecto. La primera, es que el usuario final solo debe copiar y pegar los datos dónde

corresponde, sin ningún tipo de edición necesaria por su parte. La segunda, es que se puede generar una tabla de edificios, asignándoles un número identificatorio, y filtrando para seleccionar el edificio a tratar. Luego, el usuario sólo tendrá que modificar el filtro asignado, y los datos del edificio y sus mediciones, se ajustarán al proyecto en el que se esté trabajando.

| Edifi | Código     | U. | Descripción   | Precio | Medici    | Import     |
|-------|------------|----|---|--------|-----------|------------|
| 1     | P4524-I118 | m3 | Muro de hormigón armado, para dejar el hormigón vist    | 494.08 | 129.691   | 64,077.73  |
| 1     | P4P5-H9AY  | m  | Losa de escalera prefabricada de hormigón con escaló    | 81.37  | 10.246    | 833.72     |
| 1     | P459B-CWEQ | m2 | Forjado nervado unidireccional de 22+5 cm, con caseto   | 85.80  | 1,258.258 | 107,958.54 |
| 1     | PA16-H8VQ  | m2 | Desmontaje y montaje de marco y hojas de puerta de n    | 155.27 | 54.810    | 8,510.35   |
| 1     | PA18-8212  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 759.74 | 4.000     | 3,038.96   |
| 1     | PA18-8290  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 917.23 | 4.000     | 3,668.92   |
| 1     | PA18-819M  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 206.24 | 12.000    | 2,474.88   |
| 1     | PB11-D1ZS  | m  | Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibde  | 266.30 | 25.407    | 6,765.88   |
| 2     | P4FG-ED7Y  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 11,5 cm de esp  | 592.85 | 25.089    | 14,874.01  |
| 2     | P4FG-ED7E  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 14 cm de espes  | 541.54 | 64.107    | 34,716.50  |
| 2     | P4FG-ED7M  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 29 cm de espes  | 519.34 | 40.495    | 21,030.67  |
| 2     | P431-6NWW  | m2 | Forjado con viguetas de madera de abeto C24 acabada     | 102.76 | 1,258.258 | 129,298.59 |
| 2     | PAM2-3ETM  | m2 | Cerramiento de vidrio luna incolora templada de 10 mr   | 287.74 | 10.500    | 3,021.27   |
| 2     | PAB1-61RC  | u  | Puerta de chapa de acero, colocada en paredes exist     | 232.22 | 1.000     | 232.22     |
| 2     | PAB0-10KD  | u  | Puerta de acero galvanizado en perfiles laminados de L  | 213.06 | 8.000     | 1,704.48   |
| 2     | PAJ2-80HG  | u  | Hoja fija de PVC no plastificado, colocada sobre premai | 174.56 | 6.000     | 1,047.36   |

Ilustración 52. Base de datos de proyectos históricos, permite la selección de edificios particulares para su uso en la interfaz. Fuente: Excel, propia, 2023.

Una vez importados los datos externos desde el TCQ, la tabla de impacto de los parámetros se poblará automáticamente con los datos de cada partida. Es una simple función de búsqueda que toma como referencia el código de partida y devuelve el dato apropiado para cada parámetro.

| RA1   | RA2   | RA3   | Ramb   | RE1   | RE2   | RE3   | Reco   | RS1   | RS2   | RS3   | Rsoc   | Rsos   |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |

Ilustración 53. Datos de extracción a la base de datos según los datos insertados en la interfaz y el cálculo parcial de rendimiento ambiental, económico y social del proyecto. Fuente: Excel, propia, 2023.



## 5.7. Proceso de optimización

Llegado este punto del proceso, tenemos a nuestra disposición los datos base del edificio a estudiar, los pesos que el usuario asocia a cada uno de los parámetros definidos y los datos procesados del impacto de cada uno de ellos, en un rango de cero a uno. Y lo que queremos lograr es, para cada partida, buscar una partida equivalente, con un valor de impacto menor a la inicial.

Para esto, es necesario realizar las siguientes comprobaciones para mejor acomodar las necesidades del usuario:

1. Si una partida se debe optimizar. En caso positivo, el programa habilita el proceso de optimización. En caso negativo, queda el valor actual sin modificar, y más importante, sin gastar poder de procesamiento en partidas innecesarias.
2. Si el usuario requiere una búsqueda exigente o no. En caso positivo, el algoritmo de optimización buscará partidas dónde el código llave coincida exactamente, específicamente, la primera parte antes del guion (formato X000-0000). En caso contrario, el programa buscará coincidencias con partidas utilizando únicamente los primeros tres dígitos de dicho código.
  - a. La forma en que la base de datos, BEDEC, clasifica las partidas de obra es jerárquico. Códigos con el mismo prefijo pertenecen a la misma categoría. De esta manera, se pueden escoger códigos que pertenezcan a una misma categoría de elemento, tanto como códigos que pertenezcan al mismo elemento, con diferencias básicas de material o dimensiones.
3. Cuál será el parámetro de impacto a optimizar. Este parámetro se escoge en la interfaz de usuario y es el valor a optimizar. Actualmente, sólo se optimiza alrededor de un único parámetro, debido a la simplicidad del algoritmo. El resto de valores serán los apropiados al valor optimizado, reemplazando así a toda la partida.
4. Si el valor encontrado está en un rango entre cero y uno. Debido a la actual implementación del algoritmo de búsqueda, el caso en el que el valor encontrado sea mayor a uno significa que no se encontró un mínimo dentro de la base de datos y, por ende, se debe ignorar.

| Código | Medición  | Trabajo | v | Código | % | RA1 | RA2 | RA3 | Ramb | RE1 | RE2 | RE3 |
|--------|---|---------|---|--------|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|        |   |         | 0 | 16     |   | V   |     |     |      |     |     |     |
|        | <code>=SI(R\$91="V";SI(\$N93=1;SI(\$N\$90=0;OptimizarValorSegunCodigo(EXTRAE(\$B93;1;3);BUSCARV(B93;BaseDatos!\$A:\$AB;1;FALSO);\$O\$91;BaseDatos!\$A:\$AB);SI(OptimizarValorSegunCodigo(EXTRAE(B93;1;ENCONTRAR("-";\$B93;1);BUSCARV(B93;BaseDatos!\$A:\$AB;11;FALSO);\$O\$91;BaseDatos!\$A:\$AB)&lt;2;OptimizarValorSegunCodigo(EXTRAE(\$B93;1;ENCONTRAR("-";\$B93;1);BUSCARV(B93;BaseDatos!\$A:\$AB;11;FALSO);\$O\$91;BaseDatos!\$A:\$AB);OptimizarValorSegunCodigo(EXTRAE(\$B93;1;3);BUSCARV(B93;BaseDatos!\$A:\$AB;11;FALSO);\$O\$91;BaseDatos!\$A:\$AB));SI.ND(BUSCARV(\$B93;BaseDatos!\$A:\$AB;17;FALSO);0));SI(\$O93="";SI.ND(BUSCARV(\$B93;BaseDatos!\$A:\$AB;17;FALSO);0);SI.ND(BUSCARV(\$O93;BaseDatos!\$A:\$AB;17;FALSO);0)))</code> |         |   |        |   |     |     |     |      |     |     |     |

Ilustración 54. Fórmula para realizar las comprobaciones necesarias para la búsqueda de valores dentro de la base de datos, utilizando también una fórmula personalizada con Visual Basic para iterar sobre la base de datos. Fuente: Excel, Chat GPT, propia, 2023.

Por otra parte, la interfaz de usuario es actualizada para mostrar las partidas que fueron optimizadas, y qué código le pertenece, para la mejor visualización de las partidas que actualmente se están utilizando para el cálculo del índice de sostenibilidad del edificio. Adicionalmente, se calcula en porcentaje, la mejora que introduce la optimización al proyecto, para la comparación del caso inicial con el optimizado.

Finalmente, el algoritmo utilizado para la búsqueda de partidas es un módulo específico a Excel desarrollado en Visual Basic. Esto permite la flexibilidad necesaria para realizar una búsqueda completa de la base de datos, lo cual no es posible utilizando las fórmulas de Excel por defecto. Se trata de un bucle donde el programa evalúa cada celda del parámetro a optimizar en la base de datos, y registra el valor menor encontrada hasta el momento. Al finalizar la búsqueda, el programa devuelve el último valor encontrado, que asegura ser el menor dentro de la base de datos, que cumple con las condiciones mencionadas anteriormente.

```
Function OptimizarValorSegunCodigo(value As String, criteria As Double, returnOffset As Double, range As range) As Variant
    Dim cell As range
    Dim minValue As Double
    Dim minAddress As String

    minValue = 9999999999# 'inicializado a un número grande

    Debug.Print "The criteria is ", criteria

    For Each cell In range
        'si las primeras tres/todas letras del código son iguales al valor de entrada
        If Left(cell.value, Len(value)) = value Then
            'si el parametro de la nueva celda evaluada es igual al criterio inicial
            If cell.Offset(0, 10).value = criteria Then
                'returnOffset es el número de celdas desde el código donde se encuentra el valor de retorno
                If cell.Offset(0, returnOffset).value < minValue Then
                    'actualizar valor para retornar el menor encontrado
                    minValue = cell.Offset(0, returnOffset).value
                    'memoria de la celda de código asociada al minValue
                    minAddress = cell.Address
                    Debug.Print "The current cell's parameter value is ", cell.Offset(0, 10).value
                End If
            End If
        End If
    Next cell

    OptimizarValorSegunCodigo = minValue
End Function
```

**Ilustración 55.** Código generado con asistencia de Chat GPT y personalizado a mi caso específico, para iterar sobre la base de datos, fila a fila. Fuente: Chat GPT, propia, 2023.

## 5.8. Generación de hipótesis

Para este tipo de herramienta, surge la necesidad de explorar muchos tipos de combinaciones posibles, para poder realizar una comparativa al optimizar los elementos de obra. Para esto, se debe tener la habilidad de, no sólo guardar los datos originales y optimizados, sino que también que, al cambiar estos datos en la interfaz, estas hipótesis deben mantener los datos guardados, no las referencias a las celdas que contenían ese dato. Esto, claramente, es una limitación de Excel, y se podría simplificar el problema si se utilizan otros medios de programación, pero de momento, es necesario desarrollar un módulo de Visual Basic que cubra nuestras necesidades.

Las hipótesis serán creadas a través de ese bloque de código, creando una nueva hoja de cálculo para guardar estos datos, dando la opción de seleccionar el rango de celdas y el nombre de la nueva hoja. Las celdas seleccionadas serán pegadas con la función de pegado especial, para que se inserten el contenido de las celdas, no la referencia.

```
Sub CopyPasteValuesNewSheet()
  On Error Resume Next
  ' Pedir al usuario que seleccione un rango de celdas
  Dim rango As range
  Set rango = Application.InputBox("Selecciona el rango de celdas a copiar", "Selección de Rango", Type:=8)
  If rango Is Nothing Then
    MsgBox "No ha seleccionado ningun rango"
    Exit Sub
  End If
  On Error GoTo 0

  ' Contar el número de hojas con el nombre "Hipótesis"
  Dim contador As Integer
  contador = 0

  For Each hoja In ThisWorkbook.Sheets
    If hoja.Name Like "Hipótesis*" Then
      contador = contador + 1
    End If
  Next hoja

  ' Crear un nombre para la nueva hoja con el número contado
  Dim nombreHoja As String
  nombreHoja = "Hipótesis " & contador + 1

  ' Crear una nueva hoja con el nombre ingresado
  Dim newSheet As Worksheet
  Set newSheet = ThisWorkbook.Sheets.Add(After:=ThisWorkbook.Sheets(ThisWorkbook.Sheets.Count))
  newSheet.Name = nombreHoja
  ' Copiar los valores del rango seleccionado
  rango.Copy
  ' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores
  newSheet.range("A1").PasteSpecial xlPasteValues
End Sub
```

## 5.9. Visualización

La visualización de datos es crucial para permitir al usuario reconocer fácilmente los patrones y tomar decisiones dentro del programa con toda la información disponible. Esta visualización se divide en la interfaz y una vista detallada de los parámetros. La interfaz muestra los valores calculados a partir de los parámetros de entrada, con el propósito de cuantificar los componentes del índice de sostenibilidad: ambiental, económico y social. Por otro lado, la visualización detallada de los parámetros muestra los valores del impacto que tiene un determinado parámetro, donde es posible ver qué elementos generan el mayor impacto, ya sea ambiental, económico o social. Y, por último, la interfaz de análisis comparativo de hipótesis generadas, que permite visualizar fácilmente los valores de cada hipótesis y sus diferencias.

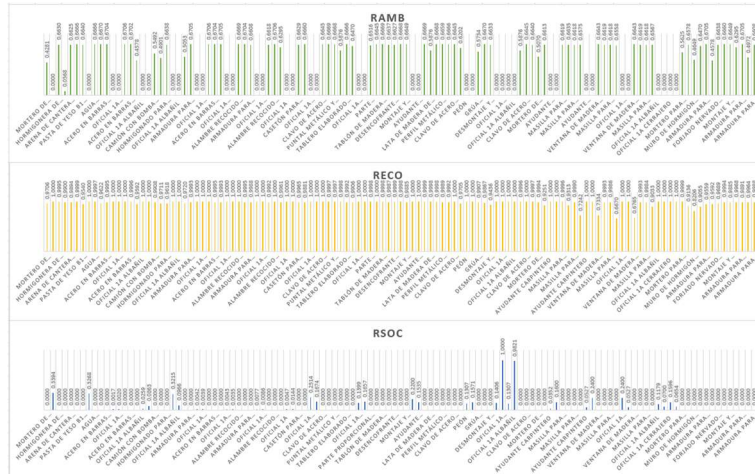


Ilustración 56. Gráficas de rendimiento ambientales, económicos y sociales, por elemento de obra. Fuente: Excel, propia, 2023.

IMPACTO AMBIENTAL



Ilustración 57. Gráficas de cada parámetro de impacto ambiental, por elemento de obra. Fuente: Excel, propia, 2023.

IMPACTO ECONÓMICO



IMPACTO SOCIAL



Ilustración 58. Gráficas de cada parámetro de impacto económico y social, por elemento de obra. Fuente: Excel, propia, 2023.

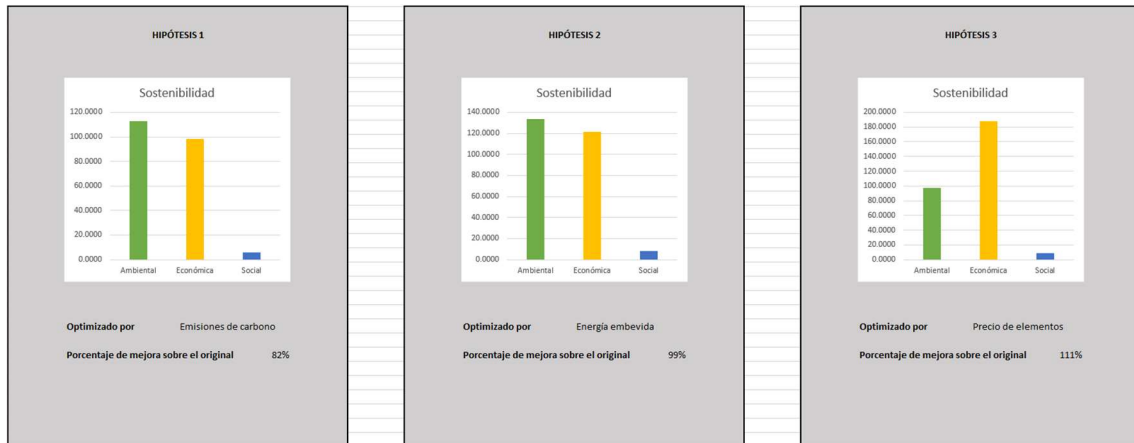


Ilustración 59. Interfaz de análisis comparativo de las hipótesis guardadas durante el proceso de optimización del edificio. Fuente: Excel, propia, 2023.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Durante el desarrollo y redacción de este trabajo final de grado, surgieron muchas dudas e inquietudes que pude resolver gradualmente, culminando en el desarrollo de una herramienta de análisis y optimización de proyectos de construcción, y específicamente, su fase de construcción, y con la ayuda de la herramienta ESPREH, su fase de uso, en gran medida. Sin embargo, estas soluciones dieron lugar a nuevas dudas que todavía quedan sin resolver, y que muchas de ellas quedan pendientes para el desarrollo continuado de esta herramienta. De esta manera, expongo algunas reflexiones que se deberían tener en cuenta, para el desarrollo de futuros proyectos.

La carrera de arquitectura técnica se ha vuelto cada vez más compleja y tecnológica en los últimos años, y esto continuará en el futuro. Los arquitectos técnicos deben estar capacitados para utilizar herramientas digitales para planificar, diseñar y construir edificaciones eficientes y sostenibles. Esto incluye la utilización de software para diseño arquitectónico, modelado 3D, simulación de sistemas y análisis estructural, entre otros. Además, es crucial que los arquitectos técnicos estén al día con las normativas y estándares tecnológicos en la construcción, ya que esto garantiza la seguridad y el cumplimiento de regulaciones en todas las etapas del proyecto. La implementación de sistemas de construcción inteligentes también es un aspecto importante para el futuro de la arquitectura técnica, ya que ayudan a mejorar la eficiencia energética y la calidad de vida en los edificios.

Es este enfoque tecnológico que resultó en una herramienta informática analítica, de apoyo al técnico, para optimizar los diferentes materiales y elementos de obra, y generar proyectos más sostenibles. Este programa fue diseñado con su escalabilidad en mente desde el inicio, con la opción de expandir su ámbito de análisis a las fases de uso y final de vida, y aplicar algoritmos más avanzados de inteligencia artificial, para mejorar su capacidad de análisis. Actualmente, se centra en la optimización de materiales y partidas individuales, y sus parámetros ambientales, económicos y sociales, así como también las propiedades técnicas de los materiales como resistencia, elasticidad y transmitancia térmica, entre otros. Y también, al utilizar como punto de partida una base de datos tan amplia y completa, como lo es BEDEC Sostenibilidad, permite una gran potencialidad para vincular esta herramienta, y muchas otras, como es demostrado con ESPREH, para el análisis del efecto obtenido por el proceso de optimización sobre la demanda energética y utilización de energía primaria no renovable.

Lo más difícil de este trabajo ha sido el diseño de la base de datos e interfaz de usuario, teniendo en cuenta la flexibilidad que se debe aportar al usuario y las mismas limitaciones del Excel. Tuve la oportunidad de aprender sobre los módulos de Visual Basic, para poder aplicar los filtrados automáticos de códigos y la automatización de partidas. De la misma manera, me familiaricé con el flujo de trabajo para la generación de datos y los muchos problemas que pueden surgir durante la vinculación de datos, importado de partidas, y el orden de los datos dentro de la misma base de datos. Finalmente, hago mención particular, al estandarizado de los valores de impacto ambiental, económico y social, que son medidos con unidades totalmente diferentes, y sin realizar este paso, no se podrían optimizar o visualizar comparativamente, en conjunto.

## Bibliografía

[Sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023 a]. Disponible en: <https://metabase.itec.cat/vid/e/es/bedec>

[Sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023 b]. Disponible en: <http://www42.worldometer.info/>

¿Qué es y para qué sirve el Material Passport? Construcia [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.construcia.com/material-passport/>

ALCANTARA, F., 2022. Introducción a la inteligencia artificial. [en línea]. EPSEB. Disponible en: [https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5104924/mod\\_resource/content/1/CLASE%20INTRODUCCION%20Inteligencia%20Artificial%20aplicada%20a%20la%20construcci%C3%B3n%20PARTE%20II.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5104924/mod_resource/content/1/CLASE%20INTRODUCCION%20Inteligencia%20Artificial%20aplicada%20a%20la%20construcci%C3%B3n%20PARTE%20II.pdf)

BREEAM®. El Certificado de Construcción Sostenible. BREEAM® ES [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://breeam.es/>

Byggeriets Materialepyramide. Byggeriets Materialepyramide [en línea]. [sin fecha] [consultado el 20 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.materialepyramiden.dk/>

CONSTRUIBLE, 2014. Herramienta EnerBuilCA para el análisis del ciclo de vida de edificios y su adaptación al contexto urbano. CONSTRUIBLE [en línea]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.construible.es/comunicaciones/herramienta-enerbuilcal-analisis-ciclo-vida-edificios-adaptacion-contexto-urbano>

EXCELeINFO. EXCELeINFO [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.exceleinfo.com/>

Graphics — Global Warming of 1.5 oC. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/>

GUILLAMON, T., 2022. Introducció a les xarxes neuronals artificials. [en línea]. EPSEB. Disponible en: [https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/4954718/mod\\_resource/content/14/IA-ANN-Slides.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/4954718/mod_resource/content/14/IA-ANN-Slides.pdf)

HÉRAS DIEZ, R., [sin fecha]. metodologías basadas en inteligencia artificial para facilitar la diagnosis de patologías estructurales relacionadas con la presencia de cemento de aluminato de calcio. S.I.: UNIR

M. B. Andreucci, A. Marvuglia, M. Baltov, y P. Hansen, Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy, vol. 15, 17 vols. Springer, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-71819-0>

MILUSKA.JARA, [sin fecha]. Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible [en línea]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

OPENAI. ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue. OpenAI [en línea]. 30 de noviembre de 2022 [consultado el 20 de enero de 2023]. Disponible en: <https://openai.com/blog/chatgpt/>

P. Mang y B. Haggard, Regenerative Development & Design: A Framework for Evolving Sustainability, 1.a ed. Wiley, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://regenesisgroup.com/book>

Programa para los proyectos y obras de construcción. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://itec.es/programas/tcq/>

Simulated Annealing in NetLogo - Fernando Sancho Caparrini. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=206>

USGBC | U.S. Green Building Council. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: <https://www.usgbc.org/>

ZAFAR, H., [sin fecha]. The Impacts of Construction and the Built Environment. [en línea], [Consulta: 20 enero 2023]. Disponible en: [https://www.academia.edu/34798457/The\\_Impacts\\_of\\_Construction\\_and\\_the\\_Built\\_Environment](https://www.academia.edu/34798457/The_Impacts_of_Construction_and_the_Built_Environment)



## Agradecimientos

A mi tutor, Licinio Alfaro, por la ayuda y consejos que me brindó durante el desarrollo del proyecto, así como las recomendaciones para ajustar mis expectativas y la dirección del desarrollo propio de la herramienta.

Antoni Guillamon, por impartir sus conocimientos matemáticos y de inteligencia artificial durante mi último cuatrimestre de la carrera, y su ayuda con el diseño de la base de datos.

Fanny Alcantara e Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra, por creer en el futuro de la inteligencia artificial e introducirme al campo de estudio.

Raúl Heras Diez, por compartir sus conocimientos y experiencias adquiridas durante el desarrollo de su TFM, del Máster de Inteligencia Artificial.

Adriana Calderón, por su apoyo y ayuda a lo largo de la carrera, enseñarme muchas funciones del Excel y, leer y criticar esta tesis.

Maibritt Pedersen Zari, por compartir su libro conmigo, Regenerative Urban Design and Ecosystem Biomimicry.

## Anexos

## A.1. Herramienta de análisis y optimización

### A.1.1. Valores de entrada

| PRESUPUESTO                            |            |    |  |          |                   |            |
|--|------------|----|--|----------|-------------------|------------|
|  |            |    | Precio   | Medición | Importe           |            |
| 1                                      | P4524-I11B | m3 | Muro de hormigón armado, para dejar el hormigón visto con una cuantía  | 494.08   | 129.691           | 64,077.73  |
| 2                                      | P4P5-H9AY  | m  | Losa de escalera prefabricada de hormigón con escalón de 35x15 cm, co  | 81.37    | 10.246            | 833.72     |
| 3                                      | P459B-CWEQ | m2 | Forjado nervado unidireccional de 22+5 cm, con casetones de mortero d  | 85.80    | 1,258.258         | 107,958.54 |
| 1                                      | PA16-H8VQ  | m2 | Desmontaje y montaje de marco y hojas de puerta de madera maciza, de   | 155.27   | 54.810            | 8,510.35   |
| 2                                      | PA18-S212  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 759.74   | 4.000             | 3,038.96   |
| 3                                      | PA18-S290  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 917.23   | 4.000             | 3,668.92   |
| 4                                      | PA18-S19M  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baquetas, colocada sobre  | 206.24   | 12.000            | 2,474.88   |
| 1                                      | PB11-D1ZS  | m  | Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdeno de designació | 266.30   | 25.407            | 6,765.88   |
| <b>IMPORTE TOTAL DEL PRESUPUESTO :</b> |            |    |  |          | <b>197,328.98</b> |            |

Ilustración 60. Exportado de presupuesto de obra directo de TCQ. Fuente: Excel, TCQ, propia, 2023.

| Justificación de elementos |           |      |   |            |             |           |
|----------------------------|-----------|------|---|------------|-------------|-----------|
| Nº                         | Código    | U.M. | Descripción   |            |             | Precio    |
| <b>Elemento compuesto</b>  |           |      |   |            |             |           |
|                            | B07F-0LT4 | m3   | Mortero de cemento pórtland con caliza CEM II/B-L y arena, con 250 kg/m3 de cemento, con una proporción en volumen 1:6 y 5 N/mm2 de | Rend.:     | 1.000       | 80.95     |
| <b>Mano de obra</b>        |           |      |   |            |             |           |
|                            | A0E-000A  | h    | Peón especialista   | 1.000 /R x | 22.29000 =  | 22.29000  |
|                            |           |      | Subtotal mano de obra   |            |             | 22.29000  |
| <b>Maquinaria</b>          |           |      |   |            |             |           |
|                            | C176-00FX | h    | Hormigonera de 165 l  | 0.700 /R x | 1.78000 =   | 1.24600   |
|                            |           |      | Subtotal maquinaria   |            |             | 1.24600   |
| <b>Material</b>            |           |      |   |            |             |           |
|                            | B055-067M | t    | Cemento pórtland con caliza CEM I   | 0.250 x    | 110.61000 = | 27.65250  |
|                            | B03L-05N7 | t    | Arena de cantera para morterosCri   | 1.630 x    | 17.93000 =  | 29.22590  |
|                            | B011-05ME | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad  | 0.200 x    | 1.56000 =   | 0.31200   |
|                            |           |      | Subtotal material   |            |             | 57.19040  |
|                            |           |      | Coste directo   |            |             | 80.72640  |
|                            |           |      | Gastos auxiliares   |            | 1 %         | 0.2229    |
|                            |           |      | Total   |            |             | 80.94930  |
|                            | B07K-0LR1 | m3   | Pasta de yeso B1<br>Criterio de medición: m3 de volumen necesario elaborado en la obra.   | Rend.:     | 1.000       | 126.61    |
| <b>Mano de obra</b>        |           |      |   |            |             |           |
|                            | A0D-0008  | h    | Peón yesero   | 1.000 /R x | 21.46000 =  | 21.46000  |
|                            |           |      | Subtotal mano de obra   |            |             | 21.46000  |
| <b>Material</b>            |           |      |   |            |             |           |
|                            | B011-05ME | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad  | 0.600 x    | 1.56000 =   | 0.93600   |
|                            | B059-06FO | kg   | Yeso de designación B1/20/2, segú   | 800.000 x  | 0.13000 =   | 104.00000 |

Ilustración 61. Exportado de justificación de elementos directo de TCQ. Fuente: Excel, TCQ, propia, 2023.



|           |                                      |   |   |
|-----------|--------------------------------------|---|---|
| Wa1.0.33  | Energía embebida                     | de menos energía embebida a más [0-1]       | 0 |
| Wa2.0.33  | Emissiones de CO2eq                  | de menos emisiones de carbono a más [0-1]   | 1 |
| Wa3.0.33  | Utilización de materiales reciclados | de más utilización reciclados a menos [0-1] |   |
| We1.1.00  | Precio de los componentes            | de menos precio unitario a más [0-1]        |   |
| We2.0.00  |                                      |   |   |
| We3.0.00  |                                      |   |   |
| Wa1.1.00  | Trabajo generado                     | de menos trabajo generado a más [0-1]       |   |
| Wa2.1.00  |                                      |   |   |
| Wa3.0.00  |                                      |   |   |
| Wamb.0.33 |                                      | Ramb 34.55                                  |   |
| Weco.0.33 |                                      | Reco 160.61                                 |   |
| Wroc.0.33 |                                      | Rroc 6.08                                   |   |

Sostenibilidad 87.13

Edificio exportado directo de TCO exportando como fichero de excel:

Exigente 0

| Código       | U.M. | Descripción                                      | Precio | Medición | Trabajo | v | Código | %     | RA1   | RA2   | RA3   | Ramb   | RE1   | RE2   | RE3   | Reco   | RS1   | RS2   | RS3   | Rroc  | Rros   |
|--------------|------|--|--------|----------|---------|---|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| X B07F-0L14  | m3   | Mortero de cemento Portland con caliza CEM II/B- | 80.95  | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.226 | 0.255 | 1.000 | 0.5070 | 0.088 | 0.000 | 0.000 | 0.9706 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3232 |
| X B07E-0E11  | m3   | Pasta de yeso B1                                 | 126.61 | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.007 | 0.002 | 1.000 | 0.6640 | 0.138 | 0.000 | 0.000 | 0.9540 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3177 |
| X B08E-107E  | kg   | Acero en barras corrugadas elaborado en obra y   | 1.47   | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.003 | 0.001 | 0.985 | 0.6704 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.9995 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3128 |
| X P4520-HM69 | m3   | Hormigonado para muro, con hormigón HA-25/B/     | 112.42 | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.112 | 0.316 | 1.000 | 0.4578 | 0.123 | 0.000 | 0.000 | 0.9592 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3194 |
| X P4596-D2EP | m3   | Hormigonado para forjado nervado unidireccional  | 105.20 | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.241 | 0.269 | 1.000 | 0.4972 | 0.115 | 0.000 | 0.000 | 0.9618 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3203 |
| X P48C-43MV  | kg   | Armadura para muro 80500 S de acero en barras    | 2.02   | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.003 | 0.001 | 0.985 | 0.6705 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.9993 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3128 |
| X P48G-DRL5  | kg   | Armadura para forjado nervado unidireccional     | 3.01   | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.003 | 0.001 | 0.985 | 0.6705 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.9993 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3128 |
| X P48H-D9N4  | m2   | Armadura para forjado nervado unidireccional con | 3.38   | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.016 | 0.007 | 0.996 | 0.6608 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.9988 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3126 |
| X P4D1-EL1H  | m2   | Aligerador para forjado nervado con castones de  | 10.81  | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.061 | 0.052 | 1.000 | 0.6295 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.9961 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3117 |
| X P4D2-3JMF  | m2   | Montaje y desmontaje de encofrado con tablero    | 32.74  | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.002 | 0.001 | 1.000 | 0.6660 | 0.026 | 0.000 | 0.000 | 0.9881 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3290 |
| X P4DG-3XPL  | m2   | Montaje y desmontaje de una cara de encofrado.   | 26.02  | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.050 | 0.023 | 0.988 | 0.6470 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.9906 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3299 |
| X P4D1-DG08  | m2   | Montaje y desmontaje de encofrado para forjado   | 31.81  | 1,00     | 0       | - | 0      | 0.00% | 0.004 | 0.002 | 1.000 | 0.6649 | 0.035 | 0.000 | 0.000 | 0.9885 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3292 |

Ilustración 64. Datos filtrados para visualizar las filas que contienen "X", partidas compuestas. Fuente: Excel, propia, 2023.

|           |                                      |   |   |
|-----------|--------------------------------------|---|---|
| Wa1.0.33  | Energía embebida                     | de menos energía embebida a más [0-1]       | 0 |
| Wa2.0.33  | Emissiones de CO2eq                  | de menos emisiones de carbono a más [0-1]   | 1 |
| Wa3.0.33  | Utilización de materiales reciclados | de más utilización reciclados a menos [0-1] |   |
| We1.1.00  | Precio de los componentes            | de menos precio unitario a más [0-1]        |   |
| We2.0.00  |                                      |   |   |
| We3.0.00  |                                      |   |   |
| Wa1.1.00  | Trabajo generado                     | de menos trabajo generado a más [0-1]       |   |
| Wa2.1.00  |                                      |   |   |
| Wa3.0.00  |                                      |   |   |
| Wamb.0.33 |                                      | Ramb 34.55                                  |   |
| Weco.0.33 |                                      | Reco 160.61                                 |   |
| Wroc.0.33 |                                      | Rroc 6.08                                   |   |

Sostenibilidad 87.13

Edificio exportado directo de TCO exportando como fichero de excel:

Exigente 0

| Código      | U.M. | Descripción                            | Precio   | Medición             | Trabajo  | v      | Código | %     | RA1   | RA2   | RA3   | Ramb   | RE1    | RE2   | RE3   | Reco   | RS1    | RS2   | RS3   | Rroc   | Rros   |
|-------------|------|--|----------|----------------------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| O A0E-000A  | h    | Peón especialista                      | 22.2900  | 22.2900 =            | 22.2900  | 22.29  | 0      | 0.00% |       |       |       | 0.8000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 1.0000 | 0.339  | 0.000 | 0.000 | 0.3394 | 0.4660 |
| O C17E-00FX | h    | Hormigonera de 165 l                   | 1.2460   | 0.700 R x 1.7800 =   | 1.2460   | 1.78   | 0      | 0.00% | 0.010 | 0.002 | 1.000 | 0.6830 | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.9995 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3128 |
| O B05S-067M | t    | Cemento Portland con caliza CEM II/B-  | 27.6520  | 0.250 x 110.61000 =  | 27.6520  | 110.61 | 0      | 0.00% | 0.832 | 1.000 | 1.000 | 0.0568 | 0.030  | 0.000 | 0.000 | 0.9900 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3297 |
| O B03L-05N7 | t    | Arena de cantera para morteros/Criteri | 29.2250  | 1.630 x 17.93000 =   | 29.2250  | 17.93  | 0      | 0.00% | 0.011 | 0.003 | 1.000 | 0.6625 | 0.032  | 0.000 | 0.000 | 0.9894 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3295 |
| O B01L-05ME | m3   | Agua/Criterio de medición: Unidad de r | 0.3120   | 0.200 x 1.56000 =    | 0.3120   | 1.56   | 0      | 0.00% | 0.001 | 0.000 | 1.000 | 0.6666 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.9999 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3130 |
| O A0D-0008  | h    | Peón yesero                            | 21.4600  | 1.000 R x 21.46000 = | 21.4600  | 21.46  | 21.46  | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.327 | 0.000 | 0.000  | 0.3268 |
| O B01L-05ME | m3   | Agua/Criterio de medición: Unidad de r | 0.3120   | 0.600 x 1.56000 =    | 0.3120   | 1.56   | 0      | 0.00% | 0.001 | 0.000 | 1.000 | 0.6666 | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.9997 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3129 |
| O B059-06FO | kg   | Yeso de designación B1/20/2, según la  | 104.0000 | 800.000 x 0.13000 =  | 104.0000 | 0.13   | 0      | 0.00% | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.6670 | 0.113  | 0.000 | 0.000 | 0.9622 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3204 |
| O A0L1-FEPO | h    | Ayudante ferrallista                   | 0.11455  | 0.005 R x 22.91000 = | 0.11455  | 22.91  | 0.11   | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.002 | 0.000 | 0.000  | 0.0017 |
| O A0F-0001  | h    | Oficial 1ª ferrallista                 | 0.12900  | 0.005 R x 25.80000 = | 0.12900  | 25.80  | 0.13   | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.002 | 0.000 | 0.000  | 0.0020 |
| O B0AM-078F | kg   | Alambre recocado de diámetro 1,3 mm    | 0.01367  | 0.010 x 1.34000 =    | 0.01367  | 1.34   | 0      | 0.00% | 0.002 | 0.001 | 0.988 | 0.6706 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 1.0000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3330 |
| O B0B7-10GQ | kg   | Acero en barras corrugadas B5005 de li | 1.20750  | 1.050 x 1.15000 =    | 1.20750  | 1.15   | 0      | 0.00% | 0.003 | 0.001 | 0.986 | 0.6702 | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.9996 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3129 |

Ilustración 65. Datos filtrados para visualizar las filas que contienen "O", partidas componente. Fuente: Excel, propia, 2023.

|           |                                      |   |   |
|-----------|--------------------------------------|---|---|
| Wa1.0.33  | Energía embebida                     | de menos energía embebida a más [0-1]       | 0 |
| Wa2.0.33  | Emissiones de CO2eq                  | de menos emisiones de carbono a más [0-1]   | 1 |
| Wa3.0.33  | Utilización de materiales reciclados | de más utilización reciclados a menos [0-1] |   |
| We1.1.00  | Precio de los componentes            | de menos precio unitario a más [0-1]        |   |
| We2.0.00  |                                      |   |   |
| We3.0.00  |                                      |   |   |
| Wa1.1.00  | Trabajo generado                     | de menos trabajo generado a más [0-1]       |   |
| Wa2.1.00  |                                      |   |   |
| Wa3.0.00  |                                      |   |   |
| Wamb.0.33 |                                      | Ramb 34.55                                  |   |
| Weco.0.33 |                                      | Reco 160.61                                 |   |
| Wroc.0.33 |                                      | Rroc 6.08                                   |   |

Sostenibilidad 87.13

Edificio exportado directo de TCO exportando como fichero de excel:

Exigente 0

| Código      | U.M. | Descripción                                      | Precio   | Medición             | Trabajo  | v      | Código | %     | RA1   | RA2   | RA3   | Ramb   | RE1    | RE2   | RE3   | Reco   | RS1    | RS2   | RS3   | Rroc   | Rros   |
|-------------|------|--|----------|----------------------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| X B07F-0L14 | m3   | Mortero de cemento Portland con caliza CEM II/B- | 80.95    | 1,00                 | 0        | -      | 0      | 0.00% | 0.226 | 0.255 | 1.000 | 0.5070 | 0.088  | 0.000 | 0.000 | 0.9706 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3232 |
| O A0E-000A  | h    | Peón especialista                                | 22.2900  | 22.2900 =            | 22.2900  | 22.29  | 0      | 0.00% |       |       |       | 0.8000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 1.0000 | 0.339  | 0.000 | 0.000 | 0.3394 | 0.4660 |
| O C17E-00FX | h    | Hormigonera de 165 l                             | 1.2460   | 0.700 R x 1.7800 =   | 1.2460   | 1.78   | 0      | 0.00% | 0.010 | 0.002 | 1.000 | 0.6830 | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.9995 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3128 |
| O B05S-067M | t    | Cemento Portland con caliza CEM II/B-            | 27.6520  | 0.250 x 110.61000 =  | 27.6520  | 110.61 | 0      | 0.00% | 0.832 | 1.000 | 1.000 | 0.0568 | 0.030  | 0.000 | 0.000 | 0.9900 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3297 |
| O B03L-05N7 | t    | Arena de cantera para morteros/Criteri           | 29.2250  | 1.630 x 17.93000 =   | 29.2250  | 17.93  | 0      | 0.00% | 0.011 | 0.003 | 1.000 | 0.6625 | 0.032  | 0.000 | 0.000 | 0.9894 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3295 |
| O B01L-05ME | m3   | Agua/Criterio de medición: Unidad de r           | 0.3120   | 0.200 x 1.56000 =    | 0.3120   | 1.56   | 0      | 0.00% | 0.001 | 0.000 | 1.000 | 0.6666 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.9999 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3130 |
| O A0D-0008  | h    | Peón yesero                                      | 21.4600  | 1.000 R x 21.46000 = | 21.4600  | 21.46  | 21.46  | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.327 | 0.000 | 0.000  | 0.3268 |
| O B01L-05ME | m3   | Agua/Criterio de medición: Unidad de r           | 0.3120   | 0.600 x 1.56000 =    | 0.3120   | 1.56   | 0      | 0.00% | 0.001 | 0.000 | 1.000 | 0.6666 | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.9997 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3129 |
| O B059-06FO | kg   | Yeso de designación B1/20/2, según la            | 104.0000 | 800.000 x 0.13000 =  | 104.0000 | 0.13   | 0      | 0.00% | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.6670 | 0.113  | 0.000 | 0.000 | 0.9622 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3204 |
| X B08E-107E | kg   | Acero en barras corrugadas elaborado en obra y   | 1.47     | 1,00                 | 0        | -      | 0      | 0.00% | 0.003 | 0.001 | 0.986 | 0.6704 | 0.002  | 0.000 | 0.000 | 0.9995 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 0.3128 |
| O A0L1-FEPO | h    | Ayudante ferrallista                             | 0.11455  | 0.005 R x 22.91000 = | 0.11455  | 22.91  | 0.11   | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.002 | 0.000 | 0.000  | 0.0017 |
| O A0F-0001  | h    | Oficial 1ª ferrallista                           | 0.12900  | 0.005 R x 25.80000 = | 0.12900  | 25.80  | 0.13   | 0     | 0.00% |       |       |        | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000  | 1.0000 | 0.002 | 0.000 | 0.000  | 0.0020 |
| O B0AM-078F | kg   | Alambre recocado de diámetro 1,3 mm              | 0.01367  | 0.010 x 1.34000 =    | 0.01367  | 1.34   | 0      | 0.00% | 0.002 | 0.001 | 0.988 | 0.6706 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 1.0000 | 0.000  | 0.000 | 0.000 |        |        |

## 60 Herramienta de análisis

| Código        | U.M. | Descripción                                      | Precio  | Medición        | Trabajo   | Código | %     | RA1         | RA2     | RA3    | Ramb   | RE1   | RE2    | RE3   | Reco  | RS1    | RS2    | RS3   | Rroc  | Rros   |        |
|---------------|------|--|---------|-----------------|-----------|--------|-------|-------------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| X 8077-0L14   | m3   | Mortero de cemento Portland con caliza CEM II/B- | 1.000   | Rend.: 1,000    | 80,95     | 1,00   | 1     | 8077-0L14   | 0,00%   | 0,226  | 0,235  | 1,000 | 0,5070 | 0,088 | 0,000 | 0,000  | 0,9706 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3232 |
| O A0E-000A    | h    | Peón especialista                                | 1.000   | R x 22.29000 =  | 22.29000  | 22,29  | 0     | -           | 0,00%   | 0,0000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,339  | 0,000 | 0,000 | 0,3394 | 0,4460 |
| O C176-00FX   | h    | Hormigonera de 165 l                             | 0.700   | R x 1.78000 =   | 1.24600   | 1,78   | 0     | -           | 0,00%   | 0,010  | 0,002  | 1,000 | 0,6630 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9995 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3328 |
| O 8055-067M   | t    | Cemento Portland con caliza CEM II/B-            | 0.250   | x 110.61000 =   | 27.65250  | 110,61 | 0     | -           | 0,00%   | 0,832  | 1,000  | 1,000 | 0,0568 | 0,030 | 0,000 | 0,000  | 0,9900 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,2927 |
| O 8031-05N7   | t    | Arena de cantera para morteros                   | 1.630   | x 17.93000 =    | 29.22500  | 17,93  | 0     | -           | 0,00%   | 0,011  | 0,003  | 1,000 | 0,6625 | 0,032 | 0,000 | 0,000  | 0,9894 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3295 |
| O 8011-05ME   | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad de r            | 0.200   | x 1.56000 =     | 0.31200   | 1,56   | 0     | -           | 0,00%   | 0,001  | 0,000  | 1,000 | 0,6666 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,9999 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3330 |
| X 807K-0R11   | m3   | Pasta de yeso B1                                 | 1.000   | Rend.: 1,000    | 126,61    | 1,00   | 0     | -           | 0,00%   | 0,007  | 0,002  | 1,000 | 0,6640 | 0,138 | 0,000 | 0,000  | 0,9540 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3177 |
| O A0D-0008    | h    | Peón yesero                                      | 1.000   | R x 21.46000 =  | 21.46000  | 21,46  | 0     | -           | 0,00%   | 0,0000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,327  | 0,000 | 0,000 | 0,3268 | 0,4418 |
| O 8011-05ME   | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad de r            | 0.600   | x 1.56000 =     | 0.93600   | 1,56   | 0     | -           | 0,00%   | 0,001  | 0,000  | 1,000 | 0,6666 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9997 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3329 |
| O 8055-06FO   | kg   | Yeso de designación B1/20/2, según la            | 800.000 | x 0.13000 =     | 104.00000 | 0,13   | 0     | -           | 0,00%   | 0,000  | 0,000  | 1,000 | 0,6670 | 0,113 | 0,000 | 0,000  | 0,9622 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3204 |
| X 8086-107E   | kg   | Acero en barras corrugadas elaborado en obra y   | 1.000   | Rend.: 1,000    | 1,47      | 1,00   | 0     | -           | 0,00%   | 0,003  | 0,001  | 0,986 | 0,6704 | 0,002 | 0,000 | 0,000  | 0,9995 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3328 |
| O A01-FFPD    | h    | Ayudante ferrallista                             | 0.005   | R x 22.91000 =  | 0.11455   | 22,91  | 0,11  | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,002  | 0,000 | 0,000 | 0,0017 | 0,3336 |
| O A0F-0000    | h    | Oficial 1a albañil                               | 0.005   | R x 25.80000 =  | 0.12900   | 25,80  | 0,13  | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,002  | 0,000 | 0,000 | 0,0020 | 0,3337 |
| O 80AM-078F   | kg   | Alambre recocado de diámetro 1,3 mm              | 0.010   | x 1.34000 =     | 0.01340   | 1,34   | 0     | -           | 0,00%   | 0,002  | 0,001  | 0,986 | 0,6706 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 1,0000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3330 |
| O 8087-10EQ   | kg   | Acero en barras corrugadas B5005 de li           | 1.050   | x 1.15000 =     | 1.20750   | 1,15   | 0     | -           | 0,00%   | 0,003  | 0,001  | 0,986 | 0,6702 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9996 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3329 |
| X P4520-HM69  | m3   | Hormigonado para muro, con hormigón HA-25/B/     | 1.000   | Rend.: 1,000    | 112,42    | 1,00   | 1     | P459B-CWECQ | 121,52% | 0,141  | 0,093  | 0,776 | 0,6638 | 0,123 | 0,000 | 0,000  | 0,9592 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3194 |
| O A0F-0007    | h    | Oficial 1a albañil                               | 0.066   | R x 25.80000 =  | 1.70280   | 25,80  | 1,70  | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,026  | 0,000 | 0,000 | 0,0259 | 0,3416 |
| O A0D-0007    | h    | Peón   | 0.264   | R x 21.46000 =  | 5.66544   | 21,46  | 0,26  | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,086  | 0,000 | 0,000 | 0,0863 | 0,3617 |
| O C172-00J1   | h    | Camión con bomba de hormigonar                   | 0.162   | R x 156.60000 = | 25.36920  | 156,60 | 0     | -           | 0,00%   | 0,266  | 0,087  | 1,000 | 0,5492 | 0,028 | 0,000 | 0,000  | 0,9908 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3299 |
| O 8065-11H5   | m3   | Hormigón HA-25/B/ 20 / I/a de consist            | 1.075   | x 79.96250 =    | 79.96250  | 79,96  | 1     | 8066-12DA   | 8,92%   | 0,230  | 0,256  | 1,000 | 0,5953 | 0,087 | 0,000 | 0,000  | 0,9711 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3234 |
| X P459B-CWECQ | m3   | Hormigonado para forjado nevado unidireccional   | 1.000   | Rend.: 1,000    | 105,20    | 1,00   | 0     | -           | 0,00%   | 0,241  | 0,269  | 1,000 | 0,4972 | 0,115 | 0,000 | 0,000  | 0,9618 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3203 |
| O A0D-0007    | h    | Peón   | 0.984   | R x 21.46000 =  | 21.11664  | 21,46  | 21,12 | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,322  | 0,000 | 0,000 | 0,3215 | 0,4401 |
| O A0F-0007    | h    | Oficial 1a albañil                               | 0.246   | R x 25.80000 =  | 6.34680   | 25,80  | 6,35  | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,097  | 0,000 | 0,000 | 0,0966 | 0,3652 |

Ilustración 67. Optimizando las partidas que tienen un mayor impacto. Se cuantifica el porcentaje de mejora al lado del código de la nueva partida escogida. Fuente: Excel, propia, 2023.

También se podrá definir con mayor granularidad, cómo se comportará la optimización de partidas. Cada una de ellas, se podrá habilitar para la optimización individualmente, para así poder concentrarse en aquellas partidas que tienen un mayor impacto. De esta manera, se podrá ser exigente, en cuyo caso busca una partida que se asemeje lo máximo posible a la original, o no exigente, que busca una partida dentro de la misma categoría general de la original. Esto es posible debido a la organización de la base de datos, BEDEC, ya que estructura sus códigos de manera tal que aquellas partidas que compartan su prefijo, serán aquellas que pertenezcan a las mismas categorías. Por último, se puede seleccionar a partir del símbolo "V", por encima de las columnas de impacto ambiental, económico y social, para seleccionar el foco de la optimización. En el siguiente caso, se ve una optimización no exigente con foco en las emisiones de carbono generadas por cada partida.

| Wsoc: 0.33  |      |  |         |                |           |        |      |             |         |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |        | Rroc: 0.08 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|------|--|---------|----------------|-----------|--------|------|-------------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Sostenibilidad: #7,20   |      |  |         |                |           |        |      |             |         |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |        |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Edificio exportado directo de TCQ exportando como fichero de excel: |      |  |         |                |           |        |      |             |         |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |        | Exigente 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |  |         |                |           |        |      |             |         |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |        | 16         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |      |  |         |                |           |        |      |             |         |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |        | V          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Código  | U.M. | Descripción                                      | Precio  | Medición       | Trabajo   | Código | %    | RA1         | RA2     | RA3    | Ramb   | RE1   | RE2    | RE3   | Reco  | RS1    | RS2    | RS3   | Rroc  | Rros   |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X 8077-0L14   | m3   | Mortero de cemento Portland con caliza CEM II/B- | 1.000   | Rend.: 1,000   | 80,95     | 1,00   | 1    | 8077-0L14   | 0,00%   | 0,226  | 0,235  | 1,000 | 0,5070 | 0,088 | 0,000 | 0,000  | 0,9706 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3232     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O A0E-000A  | h    | Peón especialista                                | 1.000   | R x 22.29000 = | 22.29000  | 22,29  | 0    | -           | 0,00%   | 0,0000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,339  | 0,000 | 0,000 | 0,3394 | 0,4460     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O C176-00FX   | h    | Hormigonera de 165 l                             | 0.700   | R x 1.78000 =  | 1.24600   | 1,78   | 0    | -           | 0,00%   | 0,010  | 0,002  | 1,000 | 0,6630 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9995 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3328     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8055-067M   | t    | Cemento Portland con caliza CEM II/B-            | 0.250   | x 110.61000 =  | 27.65250  | 110,61 | 0    | -           | 0,00%   | 0,832  | 1,000  | 1,000 | 0,0568 | 0,030 | 0,000 | 0,000  | 0,9900 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,2927     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8031-05N7   | t    | Arena de cantera para morteros                   | 1.630   | x 17.93000 =   | 29.22500  | 17,93  | 0    | -           | 0,00%   | 0,011  | 0,003  | 1,000 | 0,6625 | 0,032 | 0,000 | 0,000  | 0,9894 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3295     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8011-05ME   | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad de r            | 0.200   | x 1.56000 =    | 0.31200   | 1,56   | 0    | -           | 0,00%   | 0,001  | 0,000  | 1,000 | 0,6666 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,9999 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3330     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X 807K-0R11   | m3   | Pasta de yeso B1                                 | 1.000   | Rend.: 1,000   | 126,61    | 1,00   | 0    | -           | 0,00%   | 0,007  | 0,002  | 1,000 | 0,6640 | 0,138 | 0,000 | 0,000  | 0,9540 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3177     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O A0D-0008  | h    | Peón yesero                                      | 1.000   | R x 21.46000 = | 21.46000  | 21,46  | 0    | -           | 0,00%   | 0,0000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,327  | 0,000 | 0,000 | 0,3268 | 0,4418     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8011-05ME   | m3   | AguaCriterio de medición: Unidad de r            | 0.600   | x 1.56000 =    | 0.93600   | 1,56   | 0    | -           | 0,00%   | 0,001  | 0,000  | 1,000 | 0,6666 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9997 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3329     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8055-06FO   | kg   | Yeso de designación B1/20/2, según la            | 800.000 | x 0.13000 =    | 104.00000 | 0,13   | 0    | -           | 0,00%   | 0,000  | 0,000  | 1,000 | 0,6670 | 0,113 | 0,000 | 0,000  | 0,9622 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3204     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X 8086-107E   | kg   | Acero en barras corrugadas elaborado en obra y   | 1.000   | Rend.: 1,000   | 1,47      | 1,00   | 0    | -           | 0,00%   | 0,003  | 0,001  | 0,986 | 0,6704 | 0,002 | 0,000 | 0,000  | 0,9995 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3328     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O A01-FFPD  | h    | Ayudante ferrallista                             | 0.005   | R x 22.91000 = | 0.11455   | 22,91  | 0,11 | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,002  | 0,000 | 0,000 | 0,0017 | 0,3336     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O A0F-0000  | h    | Oficial 1a albañil                               | 0.005   | R x 25.80000 = | 0.12900   | 25,80  | 0,13 | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,002  | 0,000 | 0,000 | 0,0020 | 0,3337     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 80AM-078F   | kg   | Alambre recocado de diámetro 1,3 mm              | 0.010   | x 1.34000 =    | 0.01340   | 1,34   | 0    | -           | 0,00%   | 0,002  | 0,001  | 0,986 | 0,6706 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,9996 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3330     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O 8087-10EQ   | kg   | Acero en barras corrugadas B5005 de li           | 1.050   | x 1.15000 =    | 1.20750   | 1,15   | 0    | -           | 0,00%   | 0,003  | 0,001  | 0,986 | 0,6702 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,9996 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3329     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X P4520-HM69  | m3   | Hormigonado para muro, con hormigón HA-25/B/     | 1.000   | Rend.: 1,000   | 112,42    | 1,00   | 1    | P459B-CWECQ | 121,52% | 0,141  | 0,093  | 0,776 | 0,6638 | 0,123 | 0,000 | 0,000  | 0,9592 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,3194     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| O A0F-0007  | h    | Oficial 1a albañil                               | 0.066   | R x 25.80000 = | 1.70280   | 25,80  | 1,70 | 0           | -       | 0,00%  | 0,0000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 1,0000 | 0,026  | 0,000 | 0,000 | 0,0259 | 0,3416     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Ilustración 68. Se puede controlar el resultado de la optimización, eligiendo entre: exigente o no, que controla la búsqueda de códigos; y sobre qué parámetro se optimizará, controlado por la selección "V" sobre el parámetro a optimizar. Fuente: Excel, propia, 2023.

### A.1.3. Banco de edificios

Este listado, será la fuente de información de mediciones, que queda ligado a la interfaz de usuario mediante operaciones de búsqueda. Se selecciona el edificio con el que se

está trabajando, siendo necesario únicamente, el cambio de la justificación de elemento dentro de la interfaz, para cambiar de proyecto.

| Edif | Código     | U. | Descripción   | Preci    | Medici    | Import     |
|------|------------|----|---|----------|-----------|------------|
| 0    | P          |    |   | 0.00     | 0.00      | 0.00       |
| 1    | P4524-11B  | m3 | Muro de hormigón armado, para dejar el hormigón vist    | 494.08   | 129.691   | 64,077.73  |
| 1    | P4P5-HBAY  | m  | Losa de escalera prefabricada de hormigón con escaló    | 81.37    | 10.246    | 833.72     |
| 1    | P459B-CWEQ | m2 | Forjado nervado unidireccional de 22.5 cm, con caseto   | 85.80    | 1,258.258 | 107,958.54 |
| 1    | PA16-HBVQ  | m2 | Desmontaje y montaje de marco y hojas de puerta de n    | 155.27   | 54.810    | 8,510.35   |
| 1    | PA18-S212  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 759.74   | 4.000     | 3,038.96   |
| 1    | PA18-S290  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 917.23   | 4.000     | 3,668.92   |
| 1    | PA18-S19M  | u  | Ventana de madera de iroko para barnizar con baqueta    | 206.24   | 12.000    | 2,474.88   |
| 1    | P811-DIZS  | m  | Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdi  | 266.30   | 25.407    | 6,765.88   |
| 2    | P4FG-ED7Y  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 11,5 cm de esp  | 592.85   | 25.089    | 14,874.01  |
| 2    | P4FG-ED7E  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 14 cm de espes  | 541.54   | 64.107    | 34,716.50  |
| 2    | P4FG-ED7M  | m3 | Pared estructural a dos caras vistas de 29 cm de espes  | 519.34   | 40.495    | 21,030.67  |
| 2    | P431-6NWW  | m2 | Forjado con viguetas de madera de abeto C24 acabada     | 102.76   | 1,258.258 | 129,298.59 |
| 2    | PAM2-3ETM  | m2 | Cerramiento de vidrio luna incolora templada de 10 mr   | 287.74   | 10.500    | 3,021.27   |
| 2    | PA81-61RC  | u  | Puerta de chapa de acero, colocada en paredes exister   | 232.22   | 1.000     | 232.22     |
| 2    | PA80-I0KD  | u  | Puerta de acero galvanizado en perfiles laminados de L  | 213.06   | 8.000     | 1,704.48   |
| 2    | PAJ2-80HG  | u  | Hoja fija de PVC no plastificado, colocada sobre premai | 174.56   | 6.000     | 1,047.36   |
| 2    | PAJ1-804L  | u  | Ventana de PVC no plastificado, colocada sobre premai   | 463.71   | 10.976    | 5,089.68   |
| 2    | PAJ1-805L  | u  | Ventana de PVC no plastificado, colocada sobre premai   | 557.93   | 5.600     | 3,124.41   |
| 2    | PAJ1-8093  | u  | Ventana de PVC no plastificado, colocada sobre premai   | 424.10   | 6.000     | 2,544.60   |
| 2    | PAJ1-800J  | u  | Ventana de PVC no plastificado, colocada sobre premai   | 130.03   | 12.000    | 1,560.36   |
| 2    | PQN1-HAAS  | m  | Escalera metálica de gato, con tubos de acero S275JR, i | 105.27   | 10.246    | 1,078.60   |
| 2    | P817-FHRU  | m  | Barandilla de madera de melis para barnizar, con mont   | 184.26   | 25.407    | 4,681.49   |
| 3    | P4Q2-49QK  | m3 | Mampostería de espesor variable de sillar de piedra de  | 1,601.69 | 40.495    | 64,860.44  |
| 3    | P653-3N91  | m2 | Tabique de placas de yeso laminado formado por estru    | 45.42    | 427.355   | 19,410.46  |
| 3    | P653-3IG5  | m2 | Tabique de placas de yeso laminado formado por estru    | 43.01    | 250.879   | 10,790.31  |
| 3    | P431-6NWW  | m2 | Forjado con viguetas de madera de abeto C24 acabada     | 102.76   | 1,258.258 | 129,298.59 |
| 3    | PA16-HBVQ  | m2 | Desmontaje y montaje de marco y hojas de puerta de n    | 155.27   | 10.500    | 1,630.34   |
| 3    | PAF3-7N11  | u  | Balconera de aluminio anodizado natural con rotura de   | 328.76   | 6.000     | 1,972.56   |
| 3    | PA12-83RW  | u  | Balconera de madera de iroko para barnizar con baque    | 388.86   | 8.000     | 3,110.88   |
| 3    | PADO-HBWK  | u  | Puerta de plancha perforada de acero de una hoja bati   | 196.72   | 1.000     | 196.72     |

Ilustración 69. Listado de todos los elementos pertenecientes a los edificios, numerados para su filtrado y utilización dentro de la herramienta. Fuente: Excel, propia, 2023.

### A.1.4. Detallado de impacto

#### IMPACTO AMBIENTAL

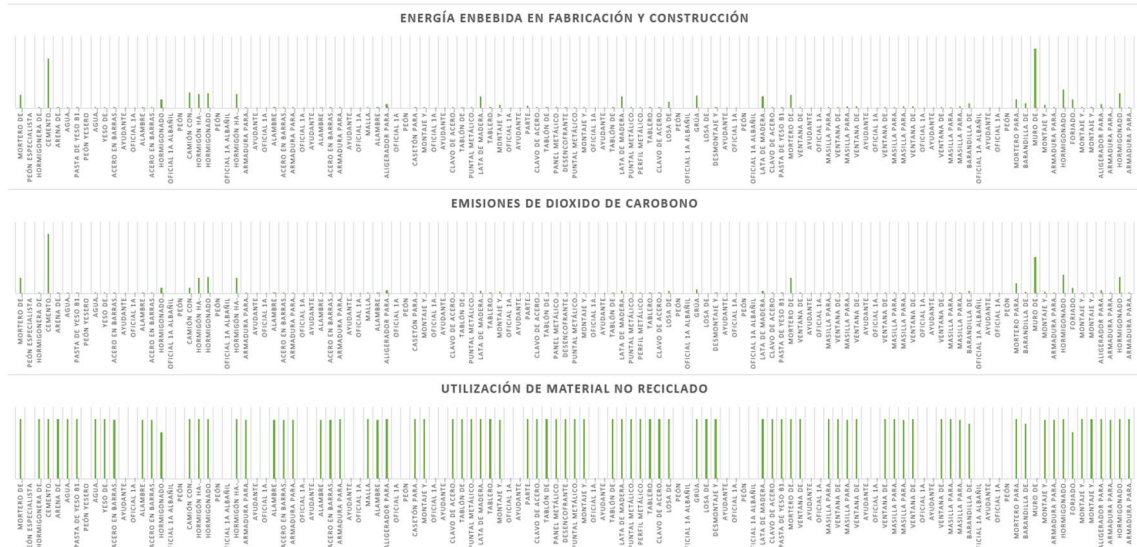


Ilustración 70. Informe detallado de los parámetros individuales, se visualiza el impacto de cada elemento sobre el parámetro ambiental correspondiente. Fuente: Excel, propia, 2023.





| DEFINICIÓN |      |  |          |           |                    |                     |
|------------|------|--|----------|-----------|--------------------|---------------------|
| Código     | U.I. | Descripción                              | Precio   | Categoría | Codificación       | Dependencias        |
| B06E-12DA  | m3   | Hormigón HA-25/B / 20 / I de consisten   | 73.3800  | Material  | HORMIGONES         | A01-FEPO,A0F-000I,B |
| B07F-0LSZ  | m3   | Mortero mixto de cemento pórtland cc     | 141.4163 | Material  | MORTEROS DE COM    | A0E-000A,B011-05ME  |
| B07F-0LT4  | m3   | Mortero de cemento pórtland con caliz    | 8.9500   | Material  | MORTEROS DE COM    | A0E-000A,B011-05ME  |
| B07F-0LT5  | m3   | Mortero de cemento pórtland con caliz    | 93.3600  | Material  | MORTEROS DE COM    | A0E-000A,B011-05ME  |
| B07F-0LT6  | m3   | Mortero mixto de cemento pórtland cc     | 178.8000 | Material  | MORTEROS DE COM    | A0E-000A,B011-05ME  |
| B07G-0MR9  | m3   | Mortero de cemento con cemento pórt      | 82.6068  | Material  | MORTEROS DE COM    | A0E-000A,B011-05ME  |
| B07K-0LR1  | m3   | Pasta de yeso B1                         | 126.6100 | Material  | MORTEROS DE COM    | A0D-0008,B011-05ME  |
| B07L-1PYB  | t    | Mortero para albañilería, clase M 7,5 (7 | 39.7200  | Material  | MORTEROS DE COM    | -                   |
| B081-06U6  | kg   | Aditivo inclusor aire/plastificante para | 1.5400   | Material  | ADITIVOS, ADICIONE | -                   |
| B0AK-07AS  | kg   | Clavo de aceroCriterio de medición: Ur   | 1.3600   | Material  | FERRETERÍA         | -                   |
| B0AK-07AT  | kg   | Lata de madera de pinoCriterio de mec    | 282.5100 | Material  | FERRETERÍA         | -                   |
| B0AM-078F  | kg   | Alambre recocado de diámetro 1,3 mm      | 1.3400   | Material  | FERRETERÍA         | -                   |
| B0AP-07IX  | u    | Taco de acero de d 10 mm, con tornillo   | 1.0600   | Material  | FERRETERÍA         | -                   |
| B0B6-107E  | kg   | Acero en barras corrugadas elaborado     | 2.0100   | Material  | ACERO Y METAL EN F | -                   |
| B0B7-106Q  | kg   | Acero en barras corrugadas B5005 de lí   | 1.4672   | Material  | ACERO Y METAL EN F | -                   |
| B0B8-108I  | m2   | Malla electrosoldada de barras corruga   | 1.8900   | Material  | ACERO Y METAL EN F | -                   |
| B0D21-07OY | m    | Tablón de madera de pino para 10 usos    | 0.4000   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0D31-07P4 | m3   | Lata de madera de pinoCriterio de mec    | 282.5100 | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0D70-0CEP | m2   | Tablero elaborado con madera de pino     | 1.8800   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0D80-0CNR | m2   | Panel metálico de 50x200 cm para 20 u    | 3.0900   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0DZ1-0ZLZ | l    | DesencofranteCriterio de medición: Ur    | 2.4900   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0DZ5-0F6R | u    | Parte proporcional de elementos auxili   | 0.5200   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0DZ6-0F6M | m2   | Perfil metálico desmontable para sopd    | 2.6800   | Material  | MATERIALES PARA E  | -                   |
| B0F13-0LM8 | u    | Ladrillo hueco sencillo de 290x140x40 r  | 0.2300   | Material  | MATERIALES BÁSICO  | -                   |
| B0F14-06HO | u    | Ladrillo macizo de elaboración manual    | 0.3800   | Material  | MATERIALES BÁSICO  | -                   |
| B0F15-06NG | u    | Ladrillo macizo de elaboración mecáni    | 592.8500 | Material  | MATERIALES BÁSICO  | -                   |
| B431-1BTY  | m3   | Vigueta de madera de abeto C24 acaba     | 444.4000 | Material  | MATERIALES DE MA   | -                   |
| B4D1-171S  | u    | Casetón para forjado nervado de mort     | 1.0400   | Material  | ALIGERADORES PAR   | -                   |
| B4P2-H631  | m    | Losa de escalera prefabricada de horm    | 36.6300  | Material  | MATERIALES PREFAB  | -                   |
| B7JE-0GTI  | dm3  | Masilla para sellados, de aplicación cor | 11.9600  | Material  | MATERIALES PARA J  | -                   |
| B7JE-0GTM  | dm3  | Masilla para sellados, de aplicación cor | 17.2100  | Material  | MATERIALES PARA J  | -                   |
| BA11-1WRK  | m2   | Ventana de madera de iroko para barni    | 262.8700 | Material  | MATERIALES PARA C  | -                   |
| BA11-1WSS  | m2   | Ventana de madera de iroko para barni    | 407.9500 | Material  | MATERIALES PARA C  | -                   |
| BA11-1WT0  | m2   | Ventana de madera de iroko para barni    | 396.0700 | Material  | MATERIALES PARA C  | -                   |
| BAB0-16WK  | u    | Puerta de acero galvanizado en perfil    | 178.5400 | Material  | MATERIALES PARA C  | -                   |

Ilustración 73. Descripción de los elementos, utilizado para la identificación de los datos en la visualización. Fuente: Excel, propia, 2023.

| DIMENSIÓN |      |         | PROPIEDADES |      |      |
|-----------|------|---------|-------------|------|------|
| Ancho     | Alto | Espesor | P1          | P2   | P3   |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 25.00       | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 25.00       | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 10.00 N/mm2 | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 5.00 N/mm2  | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 10.00 N/mm2 | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 2.50 N/mm2  | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 5.00 N/mm2  | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00 N/mm2  | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 7.50 N/mm2  | 0.00 | 0.00 |
| 0.00      | 0.00 | 0.00    | 0.00        | 0.00 | 0.00 |

Ilustración 74. Dimensión y propiedades técnicas de los elementos, para optimizar elementos equivalentes o con mejores características. Fuente: Excel, propia, 2023.



| Código     | Código      | %      | RA1    | RA2    | RA3    | Ramb   | RE1    | RE2    | RE3    | Reco   | RS1    | RS2    | RS3    | Rsoc   | Rsos   |
|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B07F-0LT4  | B07F-0LT4   | 0.0000 | 0.2259 | 0.2547 | 1.0000 | 0.5070 | 0.0883 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9706 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3232 |
| A0E-000A   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.3394 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3394 | 0.4460 |
| C176-00FX  | -           | 0.0000 | 0.0098 | 0.0021 | 1.0000 | 0.6630 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9995 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| B055-067M  | -           | 0.0000 | 0.8324 | 1.0000 | 1.0000 | 0.0568 | 0.0301 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9900 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3297 |
| B03L-05N7  | -           | 0.0000 | 0.0108 | 0.0029 | 1.0000 | 0.6625 | 0.0319 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9894 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3295 |
| B011-05ME  | -           | 0.0000 | 0.0011 | 0.0003 | 1.0000 | 0.6666 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9999 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3330 |
| B07K-0LR1  | -           | 0.0000 | 0.0069 | 0.0022 | 1.0000 | 0.6640 | 0.1380 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9540 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3177 |
| A0D-0008   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.3268 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3268 | 0.4418 |
| B011-05ME  | -           | 0.0000 | 0.0011 | 0.0003 | 1.0000 | 0.6666 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9997 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3329 |
| B059-06FO  | -           | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.6670 | 0.1134 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9622 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3204 |
| B0B6-107E  | -           | 0.0000 | 0.0032 | 0.0010 | 0.9856 | 0.6704 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9995 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| A01-FEPO   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0017 | 0.3336 |
| A0F-000I   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0020 | 0.3337 |
| B0AM-078F  | -           | 0.0000 | 0.0022 | 0.0007 | 0.9864 | 0.6706 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3330 |
| B0B7-106Q  | -           | 0.0000 | 0.0030 | 0.0010 | 0.9864 | 0.6702 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9996 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3329 |
| P4520-HM69 | P459B-CWVEC | 1.2152 | 0.1410 | 0.0927 | 0.7759 | 0.6638 | 0.1226 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9592 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3194 |
| A0F-000T   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0259 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0259 | 0.3416 |
| A0D-0007   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0863 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0863 | 0.3617 |
| C172-00J3  | -           | 0.0000 | 0.2665 | 0.0871 | 1.0000 | 0.5492 | 0.0277 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9908 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3299 |
| B06E-11H5  | B06E-12DA   | 0.0892 | 0.2299 | 0.2558 | 1.0000 | 0.5053 | 0.0867 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9711 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3234 |
| P4596-DZEP | -           | 0.0000 | 0.2414 | 0.2686 | 1.0000 | 0.4972 | 0.1147 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9618 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3203 |
| A0D-0007   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.3215 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3215 | 0.4401 |
| A0F-000T   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0966 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0966 | 0.3652 |
| B06E-12DA  | -           | 0.0000 | 0.2299 | 0.2558 | 1.0000 | 0.5053 | 0.0840 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9720 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3237 |
| P4BC-43MV  | -           | 0.0000 | 0.0032 | 0.0010 | 0.9853 | 0.6705 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9993 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| A01-FEPO   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0042 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0042 | 0.3344 |
| A0F-000I   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0039 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0039 | 0.3343 |
| B0AM-078F  | -           | 0.0000 | 0.0022 | 0.0007 | 0.9864 | 0.6706 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3330 |
| B0B6-107E  | -           | 0.0000 | 0.0032 | 0.0010 | 0.9856 | 0.6704 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9995 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| P4BG-D9L5  | -           | 0.0000 | 0.0032 | 0.0010 | 0.9853 | 0.6705 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9993 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| A0F-000I   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0043 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0043 | 0.3344 |
| A01-FEPO   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0035 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0035 | 0.3342 |
| B0AM-078F  | -           | 0.0000 | 0.0022 | 0.0007 | 0.9864 | 0.6706 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3330 |
| B0B6-107E  | -           | 0.0000 | 0.0032 | 0.0010 | 0.9856 | 0.6704 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9995 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3328 |
| P4BH-D9N4  | -           | 0.0000 | 0.0155 | 0.0074 | 0.9957 | 0.6608 | 0.0037 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9988 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3326 |
| A01-FEPO   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0077 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0077 | 0.3356 |
| A0F-000I   | -           | 0.0000 |        |        |        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0086 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0086 | 0.3359 |

Ilustración 77. Hipótesis generada en una nueva hoja, para guardar los datos y facilitar el análisis comparativo de la optimización. Fuente: Excel, propia, 2023.

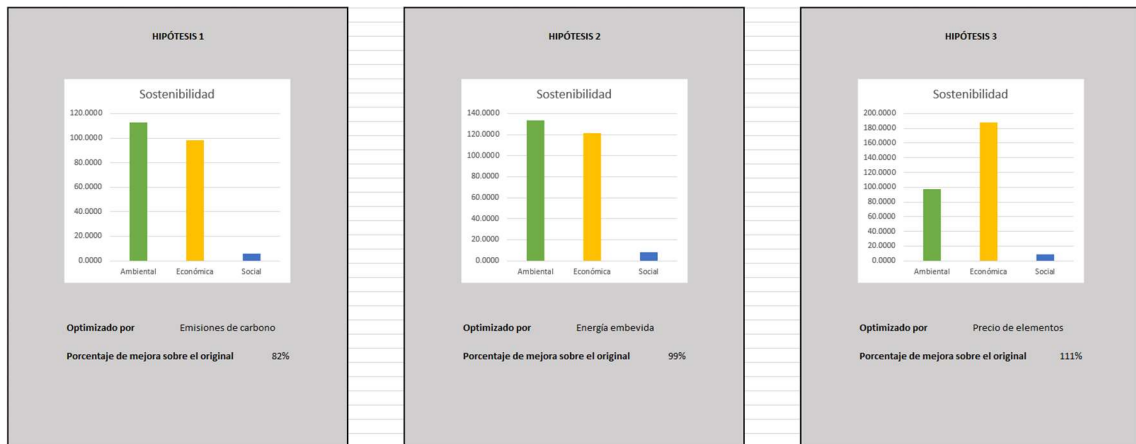


Ilustración 78. Interfaz de análisis comparativo de las hipótesis guardadas durante el proceso de optimización del edificio. Fuente: Excel, propia, 2023.

## A.2. Herramienta ESPREH

### A.2.1. Datos generales

Al iniciar la herramienta, los primeros datos a insertar, son aquellos de situación, como la ciudad, clima y tipología, y otros, como el número de viviendas, pisos y varias superficies.

**ESPREH - EINA DE SUPORT AL PREDIMENSIONAT DE LA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA EDIFICIS D'HABITATGES versió 1.1**  
 Eina desenvolupada per l'ITeC subvencionada per l'Agència de l'Habitatge de Catalunya

|  |                      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
|--|----------------------|---|---------------------|--|--|--|--|--|-----------------------|--|
| Nom projecte                                 | <input type="text"/> | <table border="1"> <tr> <td>Caselles per omplir</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Caselles amb dades proposades (modificables)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Caselles només per estimació econòmica</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Caselles no editables</td> <td></td> </tr> </table> | Caselles per omplir |  | Caselles amb dades proposades (modificables) |  | Caselles només per estimació econòmica |  | Caselles no editables |  |
| Caselles per omplir                          |                      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Caselles amb dades proposades (modificables) |                      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Caselles només per estimació econòmica       |                      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Caselles no editables                        |                      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Referència interna del tècnic                | <input type="text"/> |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Localització                                 | No seleccionat       |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Zona climàtica                               | #, NOMBRE?           |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Tipologia habitatge                          | No seleccionat       |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Nombre habitatges                            | <input type="text"/> |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Número de plantes                            | <input type="text"/> |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Tipologia assimilable                        | Entrada directa      |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Superfície (m <sup>2</sup> )                 | <input type="text"/> |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Alçada mitja (m)                             | 0.00                 |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |
| Volum interior (m <sup>3</sup> )             | 0.00                 |   |                     |  |  |  |  |  |                       |  |

Ilustración 79. Ventana de ingreso de datos generales de definición del edificio y su entorno. Fuente: ESPREH, 2023.

### A.2.2. Estado inicial del edificio

Mediante este conjunto de hojas de cálculo, se puede aproximar el estado del edificio, como se encuentra inicialmente. Contiene datos de la fachada, cubierta, otros muros e instalaciones.

| Parets exteriors                                 | Sud                   | Sud-est        | Est                   | Nord/NEst/NOest       | Oest                  | Sud-Oest       |
|--|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| Àrea total (m <sup>2</sup> )                     | 32.76                 |                | 300.3                 | 32.76                 | 300.3                 | 0              |
| Percentatge de forats (0 a 1)                    | 0.00                  | 0.00           | 0.30                  | 0.00                  | 0.12                  | 0.00           |
| <b>Estat inicial</b>                             |                       |                |                       |                       |                       |                |
| Capes tancament opac i transmissió               |                       |                |                       |                       |                       |                |
| Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | 0.02                  | 0.02           | 0.02                  | 0.02                  | 0.02                  | 0.02           |
| Capa 1 gruix (m)                                 | 0.03                  | 0.03           | 0.03                  | 0.03                  | 0.03                  | 0.03           |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0.14                  | 0.14           | 0.14                  | 0.14                  | 0.14                  | 0.14           |
| Capa 2 gruix (m)                                 | 0.02                  | 0.02           | 0.02                  | 0.02                  | 0.02                  | 0.02           |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0.19                  | 0.19           | 0.19                  | 0.19                  | 0.19                  | 0.19           |
| Capa 3 gruix (m)                                 | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0.05                  | 0.05           | 0.05                  | 0.05                  | 0.05                  | 0.05           |
| Capa 4 gruix (m)                                 | 0.05                  | 0.05           | 0.05                  | 0.05                  | 0.05                  | 0.05           |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0.02                  | 0.02           | 0.02                  | 0.02                  | 0.02                  | 0.02           |
| Capa 5 Material                                  | 0.3                   | 0.3            | 0.3                   | 0.3                   | 0.3                   | 0.3            |
| Capa 5 gruix (m)                                 | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 6 Material                                  | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 6 gruix (m)                                 | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 7 Material                                  | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 7 gruix (m)                                 | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| Capa 7 conductivitat tèrmica (W/mK)              | 0                     | 0              | 0                     | 0                     | 0                     | 0              |
| U valor paret opaca (W/m <sup>2</sup> K)         | 1.13                  | 1.13           | 1.13                  | 1.13                  | 1.13                  | 1.13           |
| <b>Ombres</b>                                    |                       |                |                       |                       |                       |                |
| Factor ombres hivern                             | No ombres (Fombres+1) | No seleccionat | No ombres (Fombres+1) | No ombres (Fombres+1) | No ombres (Fombres+1) | No seleccionat |
| Factor ombres estiu                              | No ombres (Fombres+1) | No seleccionat | No ombres (Fombres+1) | No ombres (Fombres+1) | No ombres (Fombres+1) | No seleccionat |
| <b>Finestres</b>                                 |                       |                |                       |                       |                       |                |
| <b>Finestres tipus 1</b>                         |                       |                |                       |                       |                       |                |
| Percentatge de finestres tipus 1 (0 a 1)         | 1.00                  | 0.00           | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                  | 0.00           |

Ilustración 80. Estado inicial de las fachadas, su composición por capas, transmitancias térmicas, sombras, ventanas y puentes térmicos. Fuente: ESPREH, 2023.

| Altres elements amb contacte a l'exterior |         |                        |  |
|---|---------|------------------------|--|
|   | Coberta | Solera/Forjat sanitari | Parets sense radiació solar (sense exposició solar, patis interiors) |
| Àrea total (m2)                           | 176.00  | 176.00                 | 0.00   |
| Percentatge de forats (0 a 1)             | 0.00    | 0.00                   | 0.00   |

**Estat inicial**

Capas tancament opac i transmittàncies

|                                      | Paviment de rajola ceràmica                        | Paviment de terrazo                              | Revestiment exterior arrebossat amb morter de ca |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Capa 1 Material                      |  |  |  |
| Capa 1 gruix (m)                     | 0.03   | 0.04   | 0.02   |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 1  | 1.3  | 0.8  |
| Capa 2 Material                      | Mortor de ciment                                   | Mortor de ciment                                 | Paret d'obra de fàbrica de maó calat             |
| Capa 2 gruix (m)                     | 0.04   | 0.04   | 0.14   |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 1.3  | 1.3  | 0.567  |
| Capa 3 Material                      | Solera d'encadellat ceràmic                        | Forjat sanitari de biguetes i revoltó de formigó | Revestiment interior enguixat a bona vista       |
| Capa 3 gruix (m)                     | 0.05   | 0.3  | 0.02   |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.29   | 0.846  | 0.3  |
| Capa 4 Material                      | Cambrà d'aire feblement ventilada horitzontal      |  |  |
| Capa 4 gruix (m)                     | 0.15   | 0  | 0  |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 Material                      | Forjat de biguetes de formigó i revoltons ceràmics |  |  |
| Capa 5 gruix (m)                     | 0.3  | 0  | 0  |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.846  | 0  | 0  |
| Capa 6 Material                      | Revestiment interior enguixat bona vista           |  |  |
| Capa 6 gruix (m)                     | 0.02   | 0  | 0  |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.3  | 0  | 0  |
| Capa 7 Material                      |  |  |  |
| Capa 7 gruix (m)                     | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0  | 0  | 0  |
| U valor paret opaca (W/m²K)          | 1.06   | 1.80   | 2.09   |

Ombres

|                      |                       |    |    |
|----------------------|-----------------------|----|----|
| Factor ombres hivern | No ombres (Fombres=1) | -- | -- |
|----------------------|-----------------------|----|----|

Il·lustración 81. Estado inicial de la cubierta, su composición por capas, transmitancias térmicas, sombras y ventanas. Fuente: ESPREH, 2023.

| Parets no exposades a l'exterior |                                   |                                   |                                   |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Identificació                    | Parets a espais no climatitzats 1 | Parets a espais no climatitzats 2 | Parets a espais no climatitzats 3 | Parets a espais no climatitzats 4 |
| Àrea total (m2)                  | 0                                 | 0                                 | 0                                 | 0                                 |
| Percentatge de forats (0 a 1)    | 0.00                              | 0.00                              | 0.00                              | 0.00                              |
| Factor exposició (0 a 1)         | No seleccionat                    | No seleccionat                    | No seleccionat                    | No seleccionat                    |

**Estat inicial**

Capas tancament opac i transmittàncies

|                                      | Revestiment exterior arrebossat amb morter de ca | Revestiment exterior arrebossat amb morter de ca | Revestiment exterior arrebossat amb morter de ca | Revestiment exterior arrebossat amb morter de ca |
|--------------------------------------|--|--|--|--|
| Capa 1 Material                      |  |  |  |  |
| Capa 1 gruix (m)                     | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| Capa 2 Material                      | Paret de fàbrica de maó calat                    | Paret de fàbrica de maó calat                    | Paret de fàbrica de maó calat                    | Paret de fàbrica de maó calat                    |
| Capa 2 gruix (m)                     | 0.14   | 0.14   | 0.14   | 0.14   |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.567  |
| Capa 3 Material                      | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       |
| Capa 3 gruix (m)                     | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| Capa 4 Material                      |  |  |  |  |
| Capa 4 gruix (m)                     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 Material                      |  |  |  |  |
| Capa 5 gruix (m)                     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 Material                      |  |  |  |  |
| Capa 6 gruix (m)                     | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/m²K) | 0  | 0  | 0  | 0  |
| U valor paret opaca (W/m²K)          | 1.97   | 1.97   | 1.97   | 1.97   |
| Finestres                            |  |  |  |  |
| Forats i finestres                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   |
| U valor finestres (W/m²K)            | 5.47   | 5.47   | 5.47   | 5.47   |

Il·lustración 82. Estado inicial de las paredes no expuestas al exterior, su composición por capas y ventanas. Fuente: ESPREH, 2023.

| <b>SISTEMES TÈRMICS EN LA SITUACIÓ INICIAL</b> |  |
|--|--|
| <b>Calefacció</b>                              |  |
| Cobertura equips autogeneradors (0-100)        | 0  |
| Tipus de autogenerador                         | No seleccionat                             |
| Percentatge superfícies calefacció 1 (0-1)     | 1.00                                       |
| Tipus generador 1                              | Caldera combustió antiga amb mal aïllament |
| Eficiència nominal o de combustió 1            | 70.00                                      |
| Potència nominal (kW) 1                        | 24   |
| Tipus combustible 1                            | Gas Natural                                |
| Percentatge superfícies calefacció 2           | 0.00                                       |
| Tipus generador 2                              | No seleccionat                             |
| Eficiència nominal o de combustió 2            | 0.00                                       |
| Potència nominal (kW) 2                        |  |
| Tipus combustible 2                            | No seleccionat                             |
| <b>ACS</b>                                     |  |
| Cobertura equips autogeneradors (0-100)        | 0  |
| Tipus de autogenerador                         | No seleccionat                             |
| Consum total l/dia                             | 1182                                       |
| Percentatge superfícies ACS 1 (0-1)            | 1.00                                       |
| Tipus generador 1                              | Caldera combustió antiga amb mal aïllament |
| Eficiència nominal o de combustió 1            | 70.00                                      |
| Potència nominal (kW) 1                        | 24   |
| Tipus combustible 1                            | Gas Natural                                |
| Percentatge superfícies ACS 2                  | 0.00                                       |
| Tipus generador 2                              | No seleccionat                             |
| Eficiència nominal o de combustió 2            | 0.00                                       |
| Potència nominal (kW) 2                        |  |
| Tipus combustible 2                            | No seleccionat                             |
| <b>Refrigeració</b>                            |  |
| Cobertura equips autogeneradors (0-100)        | 0  |
| Tipus de autogenerador                         | No seleccionat                             |

**Il·lustración 83. Estado inicial de los sistemas térmicos del edificio, de calefacción, ACS y refrigeración. Fuente: ESPREH, 2023.**

### A.2.3. Estado final del edificio

De la misma manera, este conjunto define los cambios y mejoras de la edificación. El contraste de estos dos estados, es lo que se usará para la consiguiente visualización de datos.

| Parets exteriors                                  | Sud  | Sud Est  | Est  | Nord/Oest/Noest                                  | Oest   | Sud Oest   |
|---|--|--|--|--|--|--|
| <b>Estat final</b>                                |  |  |  |  |  |  |
| <b>Capas tancament opac i transmissió</b>         |  |  |  |  |  |  |
| Capa 1 Material                                   | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) | Revestiment exterior arrebossat (morter de calç) |
| Capa 1 gruix (m)                                  | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| Capa 2 Material                                   | Paret de fàbrica de maó foradat                  | Paret de fàbrica de maó foradat                  | Paret de fàbrica de maó foradat                  | Paret de fàbrica de maó foradat                  | Paret de fàbrica de maó foradat                  | Paret de fàbrica de maó foradat                  |
| Capa 2 gruix (m)                                  | 0.14   | 0.14   | 0.14   | 0.14   | 0.14   | 0.14   |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.432  | 0.432  | 0.432  | 0.432  | 0.432  | 0.432  |
| Capa 3 Material                                   | Cambra d'aire vertical no ventilada              | Cambra d'aire vertical no ventilada              | Cambra d'aire vertical no ventilada              | Cambra d'aire vertical no ventilada              | Cambra d'aire vertical no ventilada              | Cambra d'aire vertical no ventilada              |
| Capa 3 gruix (m)                                  | 0.19   | 0.19   | 0.19   | 0.19   | 0.19   | 0.19   |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 4 Material                                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   | Envà de fàbrica de maó foradat                   |
| Capa 4 gruix (m)                                  | 0.05   | 0.05   | 0.05   | 0.05   | 0.05   | 0.05   |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.445  | 0.445  | 0.445  | 0.445  | 0.445  | 0.445  |
| Capa 5 Material                                   | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       | Revestiment interior enguixat a bona vista       |
| Capa 5 gruix (m)                                  | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| Capa 6 Material                                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 gruix (m)                                  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 Material                                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 gruix (m)                                  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| U valor paret opaca (W/m²K)                       | 1.13   | 1.13   | 1.13   | 1.13   | 1.13   | 1.13   |
| <b>Ombres</b>                                     |  |  |  |  |  |  |
| Factor ombres hivern                              | No ombres (Fombres=1)                            | No ombres (Fombres=1)                            | No seleccionat                                   | No ombres (Fombres=1)                            | No ombres (Fombres=1)                            | No seleccionat                                   |
| Factor ombres estiu                               | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   | No seleccionat                                   |
| <b>Medures passives</b>                           |  |  |  |  |  |  |
| Hi haurà entrada parcial del tancament?           | NO   | NO   | NO   | NO   | NO   | NO   |
| Percentatge d'aplicació de mesures a façana (0-1) | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| Tipus intervenció zona opaca                      | Allament injectat a cambra d'aire                | No seleccionat                                   | Allament injectat a cambra d'aire                | Allament injectat a cambra d'aire                | Allament injectat a cambra d'aire                | No seleccionat                                   |
| 1a capa allament tipus material                   | Perles_de_polestris_expandit                     | No_seleccionat                                   | Perles_de_polestris_expandit                     | Perles_de_polestris_expandit                     | Perles_de_polestris_expandit                     | No_seleccionat                                   |
| 1a capa allament gruix                            | Perles_de_polestris_expandit_0cm                 | No_seleccionat                                   | Perles_de_polestris_expandit_0cm                 | Perles_de_polestris_expandit_0cm                 | Perles_de_polestris_expandit_0cm                 | No_seleccionat                                   |
| 1a capa allament conductivitat                    | 0.033  | 0.033  | 0.033  | 0.033  | 0.033  | 0.033  |
| U de Forjat de bigues                             | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  | ---  |

Il·lustración 84. Estado final de las fachadas, su composición por capas, transmitancias térmicas, sombras, medidas pasivas, ventanas y puentes térmicos. Fuente: ESPREH, 2023.

| Altres elements amb contacte a l'exterior |  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Coberta  | Solera/Forjat sanitari                           | Parets sense radiació solar (sense exposició solar, patis interiors) |
| <b>Estat final</b>                        |  |  |  |
| <b>Capas tancament opac i transmissió</b> |  |  |  |
| Capa 1 Material                           | Paviment de rajola ceràmica                        | Paviment de terratzo                             | Revestiment exterior arrebossat amb morter de calç                   |
| Capa 1 gruix (m)                          | 0.03   | 0.04   | 0.02   |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 1  | 1.3  | 0.8  |
| Capa 2 Material                           | Mortor de ciment                                   | Mortor de ciment                                 | Paret d'obra de fàbrica de maó calat                                 |
| Capa 2 gruix (m)                          | 0.04   | 0.04   | 0.14   |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 1.3  | 1.3  | 0.567  |
| Capa 3 Material                           | Solera d'encadellat ceràmic                        | Forjat sanitari de biguetes i revoltó de formigó | Revestiment interior enguixat a bona vista                           |
| Capa 3 gruix (m)                          | 0.05   | 0.3  | 0.02   |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 0.29   | 0.846  | 0.3  |
| Capa 4 Material                           | Cambra d'aire feblement ventilada horitzontal      | 0  | 0  |
| Capa 4 gruix (m)                          | 0.15   | 0  | 0  |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 Material                           | Forjat de biguetes de formigó i revoltons ceràmics | 0  | 0  |
| Capa 5 gruix (m)                          | 0.3  | 0  | 0  |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 0.846  | 0  | 0  |
| Capa 6 Material                           | Revestiment interior enguixat bona vista           | 0  | 0  |
| Capa 6 gruix (m)                          | 0.02   | 0  | 0  |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 0.3  | 0  | 0  |
| Capa 7 Material                           | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 gruix (m)                          | 0  | 0  | 0  |
| Capa 7 conductivitat tèrmica (W/m²K)      | 0  | 0  | 0  |
| U valor paret opaca (W/m²K)               | 2.21   | 1.17   | 2.09   |
| <b>Ombres</b>                             |  |  |  |
| Factor ombres hivern                      | No ombres (Fombres=1)                              | No ombres (Fombres=1)                            | No ombres (Fombres=1)  |
| Factor ombres estiu                       | No ombres (Fombres=1)                              | No ombres (Fombres=1)                            | No ombres (Fombres=1)  |

Il·lustración 85. Estado final de la cubierta, su composición por capas, transmitancias térmicas, sombras, medidas pasivas y ventanas. Fuente: ESPREH, 2023.

## 70 Herramienta de análisis

| Parets no exposades a l'exterior                  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| Identificació                                     | Parets a espais no climatitzats 1                  | Parets a espais no climatitzats 2                  | Parets a espais no climatitzats 3                  | Parets a espais no climatitzats 4                  |
| <b>Estat inicial</b>                              |  |  |  |  |
| Capes tancament opac i transmissió                |  |  |  |  |
| <b>Cas Final</b>                                  |  |  |  |  |
| Capa 1 Material                                   | Revestiment exterior arrebossat amb morter de calç | Revestiment exterior arrebossat amb morter de calç | Revestiment exterior arrebossat amb morter de calç | Revestiment exterior arrebossat amb morter de calç |
| Capa 1 gruix (m)                                  | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 1 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| Capa 2 Material                                   | Paret de fàbrica de maó calat                      | Paret de fàbrica de maó calat                      | Paret de fàbrica de maó calat                      | Paret de fàbrica de maó calat                      |
| Capa 2 gruix (m)                                  | 0.14   | 0.14   | 0.14   | 0.14   |
| Capa 2 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.567  |
| Capa 3 Material                                   | Revestiment interior enguixat a bona vista         | Revestiment interior enguixat a bona vista         | Revestiment interior enguixat a bona vista         | Revestiment interior enguixat a bona vista         |
| Capa 3 gruix (m)                                  | 0.02   | 0.02   | 0.02   | 0.02   |
| Capa 3 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  |
| Capa 4 Material                                   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 4 gruix (m)                                  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 4 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 Material                                   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 gruix (m)                                  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 5 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 Material                                   | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 gruix (m)                                  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Capa 6 conductivitat tèrmica (W/m²K)              | 0  | 0  | 0  | 0  |
| U valor paret opaca (W/m²K)                       | 1.97   | 1.97   | 1.97   | 1.97   |
| <b>Mesures passives</b>                           |  |  |  |  |
| Hi haurà enderroc de tancament?                   | NO   | NO   | NO   | NO   |
| Percentatge d'aplicació de mesures a façana (0-1) | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     |
| Tipus intervenció                                 | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     |
| 1a capa aïllament tipus material                  | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     | No seleccionat                                     |
| 1a capa aïllament gruix                           |  |  |  |  |
| 1a capa aïllament conductivitat                   |  |  |  |  |
| R 1a Capa m2 KW                                   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

Ilustración 86. Estado final de las paredes no expuestas al exterior, su composición por capas, medidas pasivas y ventanas. Fuente: ESPREH, 2023.

| SISTEMES TÈRMICS EN LA SITUACIÓ FINAL      |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALEFACCIÓ</b>                          |                          |
| Cobertura equips autogeneradors (0-100)    | 0                        |
| Tipus de autogenerador                     | No seleccionat           |
| Percentatge superfícies calefacció 1 (0-1) | 1.00                     |
| Tipus generador 1                          | BdC Centralitzats/Splits |
| Eficiència nominal o de combustió 1        | 350.00                   |
| Potència nominal (kW) 1                    | 24.00                    |
| Tipus combustible 1                        | Electricitat             |
| Nombre d'aparells 1                        | 1.00                     |
| Percentatge superfícies calefacció 2 (0-1) | 0.00                     |
| Tipus generador 2                          | No seleccionat           |
| Eficiència nominal o de combustió 2        | 0.00                     |
| Potència nominal (kW) 2                    |                          |
| Tipus combustible 2                        | No seleccionat           |
| Nombre d'aparells 2                        | 0.00                     |
| <b>ACS</b>                                 |                          |
| Cobertura equips autogeneradors (0-100)    | 0                        |
| Tipus de autogenerador                     | No seleccionat           |
| Percentatge superfícies ACS 1 (0-1)        | 1.00                     |
| Tipus generador 1                          | BdC Centralitzats/Splits |
| Eficiència nominal o de combustió 1        | 350.00                   |
| Potència nominal (kW) 1                    | 24                       |
| Tipus combustible 1                        | Electricitat             |
| Nombre d'aparells 1                        | 1.00                     |
| Percentatge superfícies ACS 2 (0-1)        | 0.00                     |
| Tipus generador 2                          | No seleccionat           |
| Eficiència nominal o de combustió 2        | 0.00                     |
| Potència nominal (kW) 2                    |                          |
| Tipus combustible 2                        | No seleccionat           |
| Nombre d'aparells 2                        | 0.00                     |

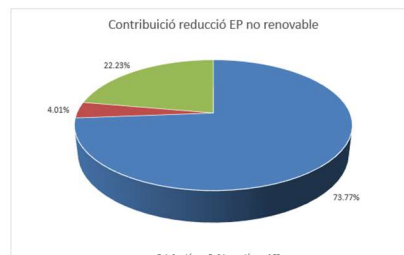
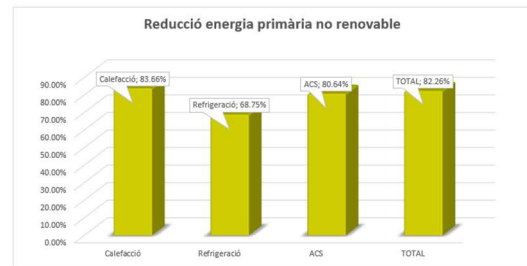
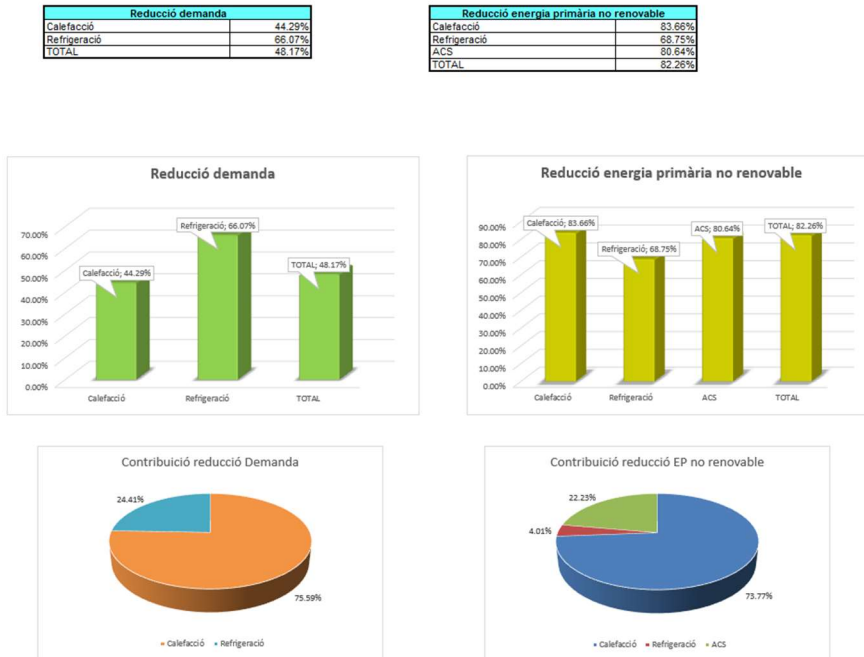


Ilustración 87. Estado final de los sistemas térmicos del edificio, de calefacción, ACS y refrigeración. Fuente: ESPREH, 2023.

### A.2.4. Resultados

Finalmente, se visualiza el porcentaje de reducción de demanda y energía, la valoración económica y un informe final.





Il·lustración 88. Visualización de los resultados de la comparación entre el estado inicial del edificio, y la mejora modelada en el estado final. Fuente: ESPREH, 2023.

| Estimació econòmica PEM                              | Imports            | Percentatges   |
|--|--------------------|----------------|
| Mesures passives tancaments verticals opacs          | 6.101.93 €         | 6.24%          |
| Mesures passives finestres                           | 49.059.24 €        | 50.14%         |
| Mesures passives proteccions solars finestres        | 14.150.22 €        | 14.48%         |
| Mesures passives tancaments opacs coberta            | 17.759.28 €        | 18.15%         |
| Mesures passives obertures coberta                   | 0.00 €             | 0.00%          |
| Mesures passives proteccions solars obertures cobert | 0.00 €             | 0.00%          |
| Mesures passives tancaments opacs solera             | 2.670.61 €         | 2.73%          |
| Mesures actives calefacció                           | 4.047.40 €         | 4.14%          |
| Mesures actives ACS                                  | 4.047.40 €         | 4.14%          |
| Mesures actives refrigeració                         | 0.00 €             | 0.00%          |
| Mesures actives autogeneració                        | 0.00 €             | 0.00%          |
| <b>TOTAL</b>   | <b>97.835.98 €</b> | <b>100.00%</b> |

| Mesures passives tancaments verticals opacs | 6,101.93 €  |            |
|---|---|------------|
| Façana sud                                  | Sense enderroc parcial del tancament                            | 370.19 €   |
|   | Aïllament injectat a cambra d'aire amb Perles de poliestirè exp |            |
| Façana sud est                              | Sense enderroc parcial del tancament                            | 0.00 €     |
|   | ---   |            |
| Façana est                                  | Sense enderroc parcial del tancament                            | 2,375.37 € |
|   | Aïllament injectat a cambra d'aire amb Perles de poliestirè exp |            |
| Façana nord/nest/noest                      | Sense enderroc parcial del tancament                            | 370.19 €   |
|   | Aïllament injectat a cambra d'aire amb Perles de poliestirè exp |            |
| Façana oest                                 | Sense enderroc parcial del tancament                            | 2,986.18 € |
|   | Aïllament injectat a cambra d'aire amb Perles de poliestirè exp |            |
| Façana sud oest                             | Sense enderroc parcial del tancament                            | 0.00 €     |
|   | ---   |            |
|   | Sense enderroc parcial del tancament                            |            |

Il·lustración 89. Valoración económica de cada medida tomada como resultado de la comparativa de casos inicial y final. Fuente: ESPREH, 2023.

ESPReH - EINA DE SUPORT AL PREDIMENSIONAT DE LA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA EDIFICIS D'HABITATGES versió 1.1  
 Eina desenvolupada per l'ITeC subvencionada per l'Agència de l'Habitatge de Catalunya

| Tancaments             |                                   |               |             |
|------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------|
| Tipus                  | Propietats transmissió tancaments | Estat inicial | Estat final |
| Façana sud             | Verticals opacs                   | 1.13          | 0.30        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 1.99        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Façana sud est         | Verticals opacs                   | 1.13          | 1.13        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 5.47        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Façana est             | Verticals opacs                   | 1.13          | 0.30        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 1.99        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Façana nord/nest/noest | Verticals opacs                   | 1.13          | 0.30        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 1.99        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Façana oest            | Verticals opacs                   | 1.13          | 0.30        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 1.99        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Façana sud oest        | Verticals opacs                   | 1.13          | 1.13        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 5.47        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |
| Coberta                | Horizontals opacs                 | 1.06          | 0.34        |
|                        | Finestres 1                       | 5.47          | 5.47        |
|                        | Finestres 2                       | 5.47          | 5.47        |

Il·lustración 90. Informe final producido por la comparativa de casos inicial y final. Fuente: ESPReH, 2023.

Para la integración de estas dos herramientas, primero se introducirán en ambas, los datos iniciales del edificio a analizar. Estos, como se ha mencionado, fueron generados automáticamente mediante el uso de Revit, para el modelo 3D, y TCQ en conjunto con la base de datos de BEDEC, para vincular estos objetos con partidas de obra. Luego, al generar varias hipótesis del edificio, se puede generar una propuesta de mejora, que se exportaría a ESPReH, como el estado final del edificio. Finalmente, se generan los gráficos y documentos de visualización de datos. Utilizamos estos datos para completar los de la herramienta propia, y para valorar cuanto impacta la obra optimizada, a la demanda energética final del edificio, así como también, su uso de energía primaria no renovable.

### A.3. Programación asistida por IA

La programación puede ser muy compleja y requiere de conocimientos básicos de matemática, lógica y reglas de sintaxis de cada lenguaje de programación que se quiera utilizar. Desde el lenguaje binario de las computadoras hasta lenguajes como Assembly, C, C++, y Python, se ve una progresión hacia la abstracción. Cada vez más, los programadores se ocupan de escribir código más general, dejando a los propios lenguajes como mediadores que se encargan de tareas como recolección de basura o administración de memoria. A raíz de esto, estos conocimientos pueden llegar a ser muy avanzados y obsoletos, en la actualidad. Pero de igual manera, existen programas muy utilizados que fueron desarrollados por décadas, dejando un vestigio de programación, como el Visual Basic de Excel, que queda relegado a expertos en la aplicación.

Por esto, es que los modelos de inteligencia artificial utilizados en GPT-3, por ejemplo, son muy útiles para el desarrollo de las actividades del profesional. Este modelo fue recientemente aplicado a una herramienta desarrollada por OpenAI, llamada Chat GPT, y permite la generación de código mediante su interpretación de lenguaje natural, el lenguaje utilizado en la comunicación diaria entre personas. Sin embargo, es muy importante tener una idea específica y tener la capacidad de dirigir la “conversación” con conocimientos técnicos, y los requisitos necesarios para el código a generar. Un profesional técnico debe decidir el diseño de los parámetros que define la programación, ya que esta herramienta no generará una aplicación completa y lista para el uso específico de cada uno a partir de una pregunta básica.

A partir de esto, expongo una conversación con Chat GPT, para la generación de un módulo de Visual Basic, en Excel, que tiene como función copiar contenido de una hoja de cálculo, a otra, generada automáticamente a la hora de ejecutar el programa:

- **En Excel, ¿cómo se puede guardar información de un grupo de celdas a otro sitio, sin que se guarden como referencias?**

Chat GPT: “Para guardar información de un grupo de celdas en otro lugar sin que se guarden como referencias, puedes utilizar la función "COPIAR Y PEGAR ESPECIAL" de Excel. Para hacer esto, selecciona las celdas que deseas copiar, luego presiona "Control + C" para copiarlas. Luego selecciona la primera celda en la ubicación donde deseas pegar la información, y presiona "Control + Alt + V" para abrir el menú "Pegar especial". En el menú, selecciona "Valores" y luego presiona "Aceptar". Esto pegará solo los valores de las celdas seleccionadas en la nueva ubicación, sin mantener ninguna referencia a las celdas originales.”

- **¿Cómo podría automatizarlo mediante el uso de fórmulas o código?**

Chat GPT: “Existen varias formas de hacer esto automáticamente mediante fórmulas o código en Excel. Una opción es utilizar la función "INDIRECTO", que te permite hacer referencia a un rango de celdas mediante una cadena de texto que representa la dirección de esas celdas. Por ejemplo, si quieres copiar el contenido de las celdas A1:A10 y pegarlos en las celdas B1:B10, puedes utilizar la fórmula "=INDIRECTO("A1:A10")" en las celdas B1:B10.

Otra forma de hacerlo automáticamente es mediante el uso de VBA (Visual Basic para Aplicaciones) en Excel. Puedes crear un macro que copie y pegue los valores de un rango de celdas específico en otro lugar.

Por ejemplo, el siguiente código de macro copia los valores de las celdas A1:A10 y los pega en las celdas B1:B10:

```
Sub CopyPasteValues()
    Range("A1:A10").Select
    Selection.Copy
    Range("B1:B10").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
End Sub
```

Puedes ejecutar este macro presionando el botón "Ejecutar macro" en la pestaña "Desarrollador" en Excel o asignándole un botón de acceso rápido.”

- **Al ejecutar este código, ¿cómo podría crear una nueva hoja con un título personalizado y pegar los valores seleccionados en esa hoja?**

Chat GPT: “Puedes hacer esto agregando algunas líneas de código al macro anterior para crear una nueva hoja con un título personalizado y pegar los valores seleccionados en esa hoja.

Aquí te dejo un ejemplo de código que realiza esta tarea:

```
Sub CopyPasteValuesNewSheet()
    ' Crear una nueva hoja con un título personalizado
    Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = "Nueva Hoja"

    ' Copiar los valores de las celdas A1:A10
    Range("A1:A10").Select
    Selection.Copy

    ' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores
    Sheets("Nueva Hoja").Select
    Range("A1").Select
    ActiveSheet.Paste

End Sub
```

En este ejemplo, se crea una nueva hoja al final de las hojas existentes y se le asigna el nombre "Nueva Hoja". Luego se copian los valores de las celdas A1:A10, se selecciona la nueva hoja creada y se pegan los valores en la celda A1 de esa hoja. Puedes cambiar el nombre de la hoja y el rango de celdas según tus necesidades."

- **¿Se ha tenido en cuenta la opción de pegado especial?**

Chat GPT: "El código que te proporcioné anteriormente no tiene en cuenta la opción de pegar especial, sólo copia y pega los valores de las celdas seleccionadas en la nueva hoja creada.

Si deseas utilizar la opción de pegar especial, puedes agregar una línea de código para especificar que se deben pegar solo los valores. En este caso, el código quedaría de la siguiente manera:

```
Sub CopyPasteValuesNewSheet()  
  
' Crear una nueva hoja con un título personalizado  
Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = "Nueva Hoja"  
  
' Copiar los valores de las celdas A1:A10  
Range("A1:A10").Select  
Selection.Copy  
  
' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores  
Sheets("Nueva Hoja").Select  
Range("A1").Select  
ActiveSheet.PasteSpecial xlPasteValues  
  
End Sub
```

Con esto, al ejecutar el código se crea una nueva hoja con el nombre "Nueva Hoja", se copian los valores de las celdas A1:A10, se selecciona la nueva hoja creada y se pegan solo los valores en la celda A1 de esa hoja."

- **¿Cómo podría lograr que el usuario tenga que seleccionar un rango de valores que se vayan a copiar a esta nueva hoja?**

Chat GPT: "Puedes utilizar la función "InputBox" de Excel para pedir al usuario que seleccione un rango de celdas antes de ejecutar el macro. La función "InputBox" permite mostrar una ventana de diálogo donde el usuario puede ingresar información.

Aquí te dejo un ejemplo de código que pedirá al usuario que seleccione un rango de celdas antes de ejecutar el macro para copiar y pegar los valores en una nueva hoja:

```

Sub CopyPasteValuesNewSheet()

' Pedir al usuario que seleccione un rango de celdas
Dim rango As String
rango = InputBox("Selecciona el rango de celdas a copiar")

' Crear una nueva hoja con un título personalizado
Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = "Nueva Hoja"

' Copiar los valores del rango seleccionado
Range(rango).Select
Selection.Copy

' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores
Sheets("Nueva Hoja").Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.PasteSpecial xlPasteValues

End Sub

```

Con este código, al ejecutar el macro se mostrará una ventana de diálogo donde el usuario puede seleccionar el rango de celdas que desea copiar, luego se crea una nueva hoja con el nombre "Nueva Hoja", se copian los valores del rango seleccionado, se selecciona la nueva hoja creada y se pegan solo los valores en la celda A1 de esa hoja."

- **También quiero que el usuario decida el nombre de la nueva hoja, y que, por defecto se llame "Hipótesis". ¿Cómo podría lograrlo?**

Chat GPT: "Puedes hacer esto utilizando nuevamente la función "InputBox" para pedir al usuario que ingrese el nombre de la nueva hoja antes de ejecutar el macro. Si el usuario no ingresa un nombre, se utilizará el valor por defecto "Hipótesis".

Aquí te dejo un ejemplo de código que realiza esta tarea:

```

Sub CopyPasteValuesNewSheet()

' Pedir al usuario que seleccione un rango de celdas
Dim rango As String
rango = InputBox("Selecciona el rango de celdas a copiar")

' Pedir al usuario que ingrese el nombre de la nueva hoja
Dim nombreHoja As String
nombreHoja = InputBox("Ingresa el nombre de la nueva hoja (por defecto: Hipótesis)", "Nombre de la hoja", "Hipótesis")

' Crear una nueva hoja con el nombre ingresado
Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = nombreHoja

' Copiar los valores del rango seleccionado
Range(rango).Select
Selection.Copy

' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores
Sheets(nombreHoja).Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.PasteSpecial xlPasteValues

End Sub

```

Con este código, al ejecutar el macro se mostrará una ventana de diálogo donde el usuario puede seleccionar el rango de celdas que desea copiar, luego se mostrará otra ventana de diálogo donde el usuario puede ingresar el nombre de la nueva hoja, si no ingresa ningún nombre se utilizará el valor por defecto "Hipótesis", luego se crea una nueva hoja con el nombre ingresado, se copian los valores del rango seleccionado, se selecciona la nueva hoja creada y se pegan solo los valores en la celda A1 de esa hoja."

- **¿Es posible tomar en cuenta todas las hojas llamadas hipótesis y generar un número automáticamente para evitar conflictos de nombres?**

Chat GPT: "Sí, es posible llevar la cuenta de todas las hojas llamadas "Hipótesis" y generar un número automáticamente para evitar conflictos de nombres. Puedes hacer esto utilizando el siguiente código:

```
Sub CopyPasteValuesNewSheet()  
  
    ' Pedir al usuario que seleccione un rango de celdas  
    Dim rango As String  
    rango = InputBox("Selecciona el rango de celdas a copiar")  
  
    ' Contar el número de hojas con el nombre "Hipótesis"  
    Dim contador As Integer  
    contador = 0  
  
    For Each hoja In ThisWorkbook.Sheets  
        If hoja.Name Like "Hipótesis*" Then  
            contador = contador + 1  
        End If  
    Next hoja  
  
    ' Crear un nombre para la nueva hoja con el número contado  
    Dim nombreHoja As String  
    nombreHoja = "Hipótesis " & contador + 1  
  
    ' Crear una nueva hoja con el nombre ingresado  
    Sheets.Add(After:=Sheets(Sheets.Count)).Name = nombreHoja  
  
    ' Copiar los valores del rango seleccionado  
    Range(rango).Select  
    Selection.Copy  
  
    ' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores  
    Sheets(nombreHoja).Select  
    Range("A1").Select  
    ActiveSheet.PasteSpecial xlPasteValues  
  
End Sub
```

Con este código, al ejecutar el macro se mostrará una ventana de diálogo donde el usuario puede seleccionar el rango de celdas que desea copiar, luego se cuenta el número de hojas con el nombre "Hipótesis" existentes en el libro actual y se genera un nombre para la nueva hoja con el número contado, y se suma 1 para evitar conflictos de nombres, luego se crea una nueva hoja con ese nombre, se copian los valores del rango seleccionado, se selecciona la nueva hoja creada y se pegan solo los valores en la celda A1 de esa hoja."

Al probar este código, se ven unos errores muy importantes durante la ejecución del programa. Se siguió intentando, mejorando la selección de los rangos, que es dónde se encuentra el primer error. La variable “rango” es de tipo *String* en este momento, que es la definición para un hilo de caracteres, pero tiene que ser de tipo *Range* o rango. Luego, se detecta un error con la selección de la nueva página, y el pegado especial dentro de la misma. Para corregir estos errores es necesario, detectar el error, interpretar el mensaje de error emitido por el programa y, de no ser capaz de corregir el error, seguir la conversación con Chat GPT, para generar el código final, con la configuración deseada.

Finalmente, se obtiene el siguiente bloque de código, que cumple todos los requisitos establecidos:

```
Sub CopyPasteValuesNewSheet()  
  On Error Resume Next  
  ' Pedir al usuario que seleccione un rango de celdas  
  Dim rango As Range  
  Set rango = Application.InputBox("Selecciona el rango de celdas a copiar", "Selección de Rango", Type:=8)  
  If rango Is Nothing Then  
    MsgBox "No ha seleccionado ningun rango"  
    Exit Sub  
  End If  
  On Error GoTo 0  
  
  ' Contar el número de hojas con el nombre "Hipótesis"  
  Dim contador As Integer  
  contador = 0  
  
  For Each hoja In ThisWorkbook.Sheets  
    If hoja.Name Like "Hipótesis*" Then  
      contador = contador + 1  
    End If  
  Next hoja  
  
  ' Crear un nombre para la nueva hoja con el número contado  
  Dim nombreHoja As String  
  nombreHoja = "Hipótesis " & contador + 1  
  
  ' Crear una nueva hoja con el nombre ingresado  
  Dim newSheet As Worksheet  
  Set newSheet = ThisWorkbook.Sheets.Add(After:=ThisWorkbook.Sheets(ThisWorkbook.Sheets.Count))  
  newSheet.Name = nombreHoja  
  ' Copiar los valores del rango seleccionado  
  rango.Copy  
  ' Seleccionar la nueva hoja creada y pegar los valores  
  newSheet.Range("A1").PasteSpecial xlPasteValues  
End Sub
```