



ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE
PROYECTOS DE EDIFICIOS INDUSTRIALES.
HUELLA DE CARBONO E HÍDRICA.

En Sevilla, a 30 de junio de 2022



ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE EDIFICIOS INDUSTRIALES. HUELLA DE CARBONO E HÍDRICA.

El presente Proyecto, redactado por Débora Lopes Rosario Silva, se realiza para optar al Título de Máster en Gestión Integral de la Edificación, siendo Tutora Dra. D. ^a Madelyn Marrero Meléndez.

Vº Bº de la Tutora

Alumna

Dra. D. ^a Madelyn Marrero Meléndez

Débora Lopes Rosario Silva



MÁSTER EN GESTIÓN INTEGRAL DE LA EDIFICACIÓN
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN
TRABAJO FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO 2021-2022

TÍTULO: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS DE EDIFICIOS INDUSTRIALES EN LA HUELLA DE CARBONO Y HÍDRICA

AUTOR: DÉBORA LOPES ROSARIO SILVA

TUTORA: DRA. MADELYN MARRERO MELÉNDEZ

COLABORADORA EN LA INVESTIGACIÓN: DRA. CRISTINA RIVERO CAMACHO

RESUMEN

En España, la mayoría de las empresas son de medio y pequeño porte, representando 90% del total de las empresas existente, y actualmente no existen investigaciones sobre edificios que ese sector actúa. El presente trabajo presenta una metodología para la evaluación de la huella de hídrica (HH) y huella de carbono (HC) de proyectos de naves industriales en España mediante la identificación de las tipologías de edificios comunes y los elementos constructivos que generan mayor impacto en los proyectos. Para eso, se adaptará una metodología que analiza la construcción de urbanizaciones, jardines y viviendas para el análisis de edificios industriales. En la provincia de Sevilla, se realizará un análisis comparativo de las tipologías de edificios industriales y sus características identificadas a partir de una muestra de 87 proyecto de edificios industriales. La HH y HC fueron elegidas por presentaren un resultados directos y claros. Como resultado, fusionará los datos de las naves industriales con los precios (ambientales y económicos) posibilitando la comparación de las soluciones constructivas y también de las tipologías seleccionadas para identificar soluciones constructivas ya tradicionalmente utilizadas en sector que presentan mejores índices de coeficientes ambientales. Posibilitando ahorros de hasta 74,4% de HC y 54,4% de HH en los casos estudiados. Se propone también una clasificación normalizada de las unidades de obra para introducir la información medioambiental del producto.

PALABRAS CLAVE: Construcción industrial, huella hídrica, huella de carbono, análisis medio ambiental.

ABSTRACT

In Spain, most of the companies are of medium and small size, representing 90% of the total existing companies, and there is currently no research on buildings that this sector operates. This paper presents a methodology for the evaluation of the water footprint (WF) and carbon footprint (CF) of industrial buildings projects in Spain by identifying the common building typologies and the construction elements that generate the greatest impact on the projects. For this purpose, a methodology that analyses the construction of housing developments, gardens and houses will be adapted for the analysis of industrial buildings. In the province of Seville, a comparative analysis of the typologies of industrial buildings and their characteristics identified from a sample of 87 industrial building projects will be conducted. The WF and CF were chosen for presenting direct and clear results. As a result, it will merge the data of the industrial buildings with the prices (environmental and economic) making possible the comparison of the constructive solutions and of the typologies selected to identify constructive solutions already traditionally used in the sector that present better indexes of environmental coefficients. This allows savings of up to 74,4% of HC and 54,4% of HH in the cases studied. A standardized classification of the work units is also proposed in order to introduce the environmental information of the product.

KEYWORDS: Industrial construction, water footprint, carbon footprint, environmental analysis.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme cursar un máster fuera de Brasil, darme fuerzas y siempre conducir mi vida por los mejores caminos donde hay las mejores personas.

El presente trabajo fue realizado bajo la supervisión de la Doctora Madelyn Marrero y Doctora Cristina Camacho a quien me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento por hacer posible la realización de ese estudio. Además de agradecer su atención, paciencia, dedicación y tiempo que tuvieron para que el estudio se concluyera de manera exitosa.

A los profesores que compartieron sus conocimientos para hacerme una profesional completa y preparada para el mercado de trabajo.

A mis compañeros de trabajo de Prebetong Áridos y Hormigón, sobre todo Jesús García, por la paciencia y comprensión en todas las veces que tuve que salir más temprano del trabajo por cuenta de los estudios. Además, me gustaría agradecer todo conocimiento que me ha pasado para convertirme en una profesional capacitada.

Agradecer a mi bisabuela Maria Lucia, que desafortunadamente no ha podido verme concluir ese estudio, pero siempre me apoyo y si ella estuviera aquí estaría muy orgullosa de mí.

A mis familiares y amigos que siempre están conmigo y acreditan en mi potencial y en mis sueños.

A mi mejor amiga Lauren Olivieiro por siempre darme fuerzas y motivarme en todas las fases de mi vida. ¡Gracias por siempre estar dispuesta a ayudarme y escucharme!

A mi pareja Sebastian que me apoyó con mucha paciencia, comprensión y amor todos los meses para que la conclusión de ese máster fuera posible en la fecha.

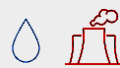
Por último, pero no menos importante, agradecer a mi perrita Amy por siempre darme cariño y estar a mi lado durante toda mi vida académica haciendo mis días más llevables y felices.

¡Muchas gracias a todos!



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Diagrama de flujos general de la metodología de HC. Fuente: (González-Vallejo, et al., 2013)	14
Ilustración 2 - tipos de huella de la HH. Fuente: (Rivero Camacho & Marrero Meléndez, 2021)	15
Ilustración 3 - Página de inicio con el menú del sitio web RecoverIND para herramientas de enseñanza (Fuente: (Marrero, et al., 2022))	17
Ilustración 4 - Mapa metodológico del modelo de evaluación del impacto ambiental y económico de naves industriales. Fuente: Elaboración propia	18
Ilustración 5 - La estructura de la BCCA para la composición de los precios. Fuente: Elaboración propia a partir de la Clasificación Sistemática (Barón Cano, et al., 2017)	21
Ilustración 6 - Ejemplo de cálculo de impactos ambientales en un precio unitario de cubierta. Fuente: (Marrero, et al., 2022)	26
Ilustración 7 - Pestaña Inicial del modelo: selección de datos iniciales	28
Ilustración 8 – Segunda pestaña del modelo: selección de datos específicos	29
Ilustración 9 - Segunda pestaña del modelo: selección de elementos constructivos adicionales	30
Ilustración 10 – Tercera pestaña del modelo: Resultados	31
Ilustración 11 – Cuarta pestaña delo modelo: Análisis y cambios	32
Ilustración 12 - HH y HC generados por m ² por proyecto	35
Ilustración 13 - HH y HC generados por m ² por proyecto después del cambio de solución constructiva	35
Ilustración 14 - HH, HC por capítulo del proyecto y por superficie – PL	40
Ilustración 15 - Costos por capítulo del proyecto y por superficie – PL	40
Ilustración 16 - HH, HC por capítulo del proyecto y por superficie – PZ	41
Ilustración 17 - Costos por capítulo del proyecto y por superficie – PZ	42
Ilustración 18 - HH, HC por capítulo del proyecto y por superficie – PC	42
Ilustración 19 - Costos por capítulo del proyecto y por superficie – PC	43
Ilustración 20 - HH, HC por capítulo del proyecto y por superficie – PP	44
Ilustración 21 - Costos por capítulo del proyecto y por superficie – PP	44
Ilustración 22 – Volumen de HH y HC generados por m ² por proyecto	45
Ilustración 23 – Precio por m ² por proyecto	45
Ilustración 24 – Gráficos de Precio, HH, HC para cada tipología analizada con división de los capítulos seleccionados para analice	46
Ilustración 25 – Escala gradiente de colores aplicada coeficiente HC en la tabla 18	47
Ilustración 26 -Impacto generado en cada proyecto después del cambio las soluciones constructivas	51



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Opciones constructivas para cada criterio	20
Tabla 2 - Tipologías identificadas	20
Tabla 3 – Precios de soluciones de constructivas creados	22
Tabla 4 - Conceptos con solo una opción de precio unitario	23
Tabla 5 - Conceptos con más de una opción de precio unitario	24
Tabla 6 - Cantidad disponibles de soluciones por elemento constructivo	25
Tabla 7 - Cálculo do peso dos elementos básicos de construcción	26
Tabla 8 – Análisis de desviación aplicado en las soleras	27
Tabla 9 - Rango del nivel de impacto ambiental HH	31
Tabla 10 - Rango del nivel de impacto ambiental HC	31
Tabla 11 - Características de los proyectos utilizados para la validación de la metodología	33
Tabla 12 - Qi's utilizados para la validación de la metodología. Los valores en azul se han obtenido de medias de los 87 proyectos en la muestra.....	34
Tabla 13 - Características de los proyectos utilizados en los estudios de caso	36
Tabla 14 - Soluciones constructivas elegidas para la evaluación de los estudios de casos	38
Tabla 15 - Soluciones constructivas de cimentación elegidas para la evaluación de los estudios de casos	38
Tabla 16 - Qi's utilizados para el análisis de los estudios de casos. En rojo las mediciones obtenidas de las medias de proyectos en la muestra.	39
Tabla 17 – Resumen de datos del proyecto PL	40
Tabla 18 - Resumen de datos del proyecto PZ.....	41
Tabla 19 - Resumen de datos del proyecto PC.....	42
Tabla 20 - Resumen de datos del proyecto PP.....	43
Tabla 21 – Resumen de Precio, HH, HC para cada tipología analizada con división de los capítulos seleccionados para analice	47
Tabla 22 - Resumen detallado de Precio, HH, HC para cada tipología analizada con división de los capítulos seleccionados para analice	48
Tabla 23 - Nuevas soluciones constructivas seleccionadas	50
Tabla 24 - Nuevas soluciones constructivas adicionales seleccionadas	50
Tabla 25 – Resumen de HH, HC y Precio de las tablas de soluciones constructivas	50



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
2	OBJETIVOS	10
3	ESTADO DE LA CUESTIÓN	11
3.1	Evaluación de sostenibilidad de edificios industriales	11
3.1.1	Huella de carbono	13
3.1.2	Huella hídrica	15
3.2	Herramientas para la evaluación del impacto medio ambiental en la construcción	16
3.3	Legislación.....	17
4	METODOLOGÍA.....	18
4.1	Desarrollo del modelo.....	19
4.1.1	Banco de datos de mediciones de proyectos	19
4.1.1.1	Recolección y estructuración de datos.....	19
4.1.1.2	Clasificación de los datos	19
4.1.2	Banco de precios (económico y ambiental)	21
4.1.2.1	Creación de la base de datos económica.....	21
4.1.2.2	Aplicación de los indicadores ambientales	25
4.1.3	Asociación de datos.....	27
4.2	Aplicación del modelo en el desarrollo de herramienta.....	28
4.2.1	Selección de la tipología.....	28
4.2.2	Selección de datos específicos.....	28
4.2.3	Presupuestos económicos y ambientales	30
4.2.4	Análisis de la eficiencia ambiental y propuesta de cambio de soluciones constructivas	32
4.3	Validación del modelo.....	33
4.3.1	Análisis y validación de los resultados.....	33
5	ESTUDIO DE LOS PROYECTOS	36
5.1	Proyecto Nave Industrial – Cimentación de losas (PL)	39
5.2	Proyecto Nave Industrial – Cimentación de zapatas aisladas (PZ).....	41
5.3	Proyecto Nave Industrial – Cimentación de zanjas corridas (PC)	42
5.4	Proyecto Nave Industrial – Cimentación de pilotes (PP)	43
6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	45
6.1	Análisis general de los resultados de los proyectos	45
6.2	Análisis detallado de los resultados de los proyectos	47
6.3	Propuesta y discusión.....	49
7	CONCLUSIONES	52
8	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	53
9	REFERENCIAS	54
10	ANEXOS.....	59



1 INTRODUCCIÓN

La industria es un sector de gran importancia para desarrollo económico de un país, en 2019 ella representó 20,2% de participación en el producto interior bruto (PIB) en España (STATISTA, 2021) y es gran generador de empleos. Por otro lado, también es responsable de un gran impacto ambiental, principalmente por la utilización de recursos naturales, emisión de contaminantes en el aire, suelo y agua, y producción de residuos (SUÁREZ TAMAYO & MOLINA ESQUIVEL, 2014). El sector genera también impactos de maneras indirectas, o sea, no solo en relación con la explotación de los edificios, pero también en su construcción de infraestructuras.

Según el Estudio sobre Demografía Empresarial realizado en 2021, hubo un aumento de creación de nuevas empresas de 46% en comparación al mismo periodo en 2020, en España (Empresa actual, 2021). Aunque no todas esas las empresas sean del sector de la industria, el crecimiento industrial impulsa la economía del país (PALOMINO, 2017), es decir, cuanto más crece la industria, el país también crece. Pero es importante que la industrias crezcan de manera sostenible, generando menos impactos en sus expansiones, eligiendo de manera consciente las tipologías constructivas que presenten el menor impacto ambiental en la producción y transporte de materiales, y en actividades de producción y uso. También es interesante destacar que, según informes del Instituto Nacional de Estadística de España en 2014, el 90% de las empresas en España son empresas de tamaño medio y pequeño (menos de 20 empleados) y la mayoría están ubicadas en edificios industriales.

Una característica interesante de los proyectos industriales es que presentan un alto porcentaje de elementos que pueden ser desmontados lo que permite impulsar el desarrollo de soluciones constructivas que dan cumplimiento con la normativa de economía circular del sector de la construcción:

*“Los diseños de los edificios y las técnicas de construcción apoyarán la circularidad y, en concreto, demostrarán, con referencia a la norma ISO 20887 u otras normas para evaluar la capacidad de desmontaje o adaptabilidad de los edificios, cómo estos están diseñados para ser más eficientes en el uso de los recursos, adaptables, flexibles y **desmontables** para permitir la reutilización y el reciclaje” (C12. Política Industrial España 2030, 2021).*

Se puede decir también que la elección de proveedores es una etapa crucial para construir de manera sostenible, estos deben presentar de manera fácil la información medioambiental de sus productos para apoyar en la concienciación de sus clientes. Los técnicos, ingenieros y arquitectos también deben ser capaces de hacer una evaluación sobre cual material y tipología utilizar para minimizar los impactos medio ambientales de la construcción que van a liderar. Esto hace necesario que se desarrollen herramientas para la capacitación de estos profesionales, por ejemplo, mediante herramientas que faciliten la evaluación del impacto ambiental de las opciones de diseño. La evaluación de indicadores



ambientales tales como la huella de carbono (HC) e hídrica (HH) podrían ser evaluadas de manera rápida y fácil durante la construcción de edificios industriales, también evaluar parte de ciclo de vida de los edificios e identificar alternativas con mejores costos beneficios en termos medio ambientales y económicos.



2 OBJETIVOS

La motivación para llevar a cabo esta investigación proviene de la necesidad de reducir los impactos ambientales que el sector de la construcción genera en el medio ambiente, sobre todo las edificaciones industriales. Decisiones tomadas en la etapa de diseño son reflejadas de manera directa en el resto de las etapas de la construcción de un edificio (Ius Natura, 2021). Asimismo, la construcción de una edificación es la fase del ciclo de vida que más genera impacto ambiental, debido a los altos consumos de recursos en un corto periodo de tiempo (1-2 años). Por eso, es fundamental que el diseño sea muy bien planteado a fin de minimizar los impactos ambientales presentes y futuros.

La finalidad de este Trabajo Fin de Máster es desarrollar un primer acercamiento a la creación de un banco de costes de la construcción de naves industriales acompañado de indicadores ambientales, que a través de una herramienta informática fomente una construcción más sostenible. Se propone un método para evaluar proyectos con el objetivo de identificar soluciones constructivas de menor impacto medioambiental. Se adapta la metodología desarrollada por el grupo ARDITEC para la evaluación de construcciones residenciales a estos edificios industriales. Para la validación de nuevo banco y su metodología se emplean datos de mediciones de edificios construidos en la provincia de Sevilla, (España), a fin de identificar las tipologías de edificios más representativos y los elementos más impactantes en ellos.

Todo el trabajo se aborda en función de una estructura presupuestaria, al ser un sistema con el que ya están familiarizados los intervinientes en el proyecto, de manera que sea posible un doble análisis, económico y ambiental. Las soluciones constructivas son las tradicionalmente utilizadas. La metodología propuesta debe permitir la localización de los elementos de mayor impacto ambiental de forma sencilla para que sea de fácil comprensión y uso por los técnicos del sector. Se propone evaluar dos indicadores: Huella de Carbono (HC) y la Huella Hídrica (HH), debido a presentar resultados directos y entendibles en la sociedad en general.

Para este trabajo será necesario definir una clasificación estandarizada de unidades de trabajo que permitan introducir la información medio ambiental de los productos, a fin de que el responsable por una construcción de nave industrial, no tengas problemas en encontrar o identificar materiales de la construcción con menor impacto medioambiental.

A largo plazo, los objetivos van encaminados al diseño de un modelo de que permita adaptaciones y aplicaciones nacionales e internacionales. De esta manera, el presente trabajo contribuye al incremento de la eficacia de diseños de edificaciones industriales de bajo impacto ambiental, considerando el presente trabajo como punto de partida para futuras investigaciones y aplicaciones informáticas.



3 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El sector de la construcción tiene una enorme influencia en el aumento de emisiones de CO₂ y también del consumo de recursos hídricos. Pero la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ está cooperando para cambiar el modelo energético, lo cual involucra desde los hábitos del consumidor hasta el sistema de proyectar y construir. Optimizar el consumo de energía y agua en los edificios que ya existen es un gran paso para cumplir con los objetivos comunitarios para 2030 generando al menos el 27% de mejora en la eficiencia energética y de 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además de reducir el impacto en el consumo y vertido del recurso hídrico (Reglamento (UE) 2018/841).

En 2018, en una investigación de la ONU se determinó que del total de emisiones globales de GEI relacionadas con la energía en 2017, 39% son de responsabilidad de los edificios, siendo 28% debido a las operaciones y 11% debido a los materiales (ONU Medio Ambiente, IEA, 2018). Se tienen previstos la construcción de 82 mil millones de metros cuadrados hasta el año 2030, que representa cerca 60% del área del inventario total de edificios en área urbana del mundo (Architecture 2030, 2014). De esa manera, es fundamental la descarbonización del entorno construido para alcanzar el objetivo de 1,5 °C del acuerdo de París, donde hay que considerar tanto el carbono operativo (CO) como el carbono incorporado (CI) surgiendo la necesidad de considerar la dimensión ambiental como clave en un enfoque de construcción, haciendo la cuantificación de los impactos de manera directa e indirecta (Bionova Ltd, 2018).

Para medir el impacto de los edificios en términos de su CI, según Abanda et al., es fundamental diseñar sistemas automatizados para calcular las emisiones de CO₂ en los edificios, por ejemplo, partiendo de las bases de datos estándar de medición y fijación de precios ya consolidadas (Abanda, et al., 2017). En las siguientes secciones, se presentará la revisión de los trabajos relacionados con la evaluación de sostenibilidad de edificios industriales, las herramientas existentes para la evaluación del impacto medio ambiental en la construcción y un breve panorama actual de la situación del sector industrial y también la legislación en España.

3.1 Evaluación de sostenibilidad de edificios industriales

El impacto ambiental de los edificios industriales ha sido explorado por varios autores y los principales indicadores evaluados fueron la huella de carbono y la energía incorporada. Por ejemplo, según investigadores de la Universidad del País Vasco (San-José Lombera & Garrucho Aprea, 2010), en Bilbao (España), generalmente los estudios de análisis de ciclo de vida (ACV) están enfocados en los edificios residenciales o de oficinas, es decir, los edificios industriales han sido excluidos de los estudios. Así pues, los autores desarrollaron un Modelo de Valor Integrado para Evaluación Sostenible (MVIÉS) con objetivo de realizar análisis medioambientales de los edificios industriales que está centrado en un Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) que evalúan varios aspectos cuantitativos y cualitativos de un edificio y luego se transforman en una unidad estándar para cualificar según la importancia de cada aspecto. Heravi et al. (Gholamreza , et al., 2015) resaltaron la importancia de la sostenibilidad de los edificios industriales en los países en desarrollo, debido su necesidad de crecimiento en el



sector industriales. En su estudio, los autores realizaron un modelo de evaluación holística de los indicadores que incluía diversas dimensiones (medioambiental, social y económica) a lo largo de todo el ciclo de vida de proyectos petroquímicos. Al final, analizaron la relación entre las variables y las dimensiones de la sostenibilidad.

A cerca análisis de edificios industriales existentes que involucran la HC, Opher et al. (Opher, et al., 2021), con objetivo de considerar las restricciones en el diseño relacionados con la conservación de la fachada de un edificio industrial patrimonial en Toronto (Canadá), estudiaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del ciclo de vida de la restauración del edificio en cuestión. Su estudio involucraba el análisis de ciclo de vida (ACV) de la cuna a la tumba de los materiales de construcción, el transporte y las actividades de construcción durante el proceso de restauración del edificio, además de las emisiones previsible debidas al consumo de energía operativa. Concluyeron que la HC incorporada al proyecto de restauración se compensa con el ahorro de energía operativa en un plazo de 3 a 13 años, dependiendo de las fuentes de energía utilizadas para calefacción, refrigeración e iluminación.

Investigadores italianos (Bonamente & Cotana, 2015) desarrollaron en su país un ACV sistemático de cuatro edificios industriales teniendo como indicadores la HC y el consumo de energía primaria. Estos generaron un modelo de cálculo sensible a las modificaciones del aislamiento térmico y la vida útil, ya que estas influyen en la HC y energía incorporada durante la fase de construcción. También constataron que el tipo de suelo y cimentación representan una menor influencia en los resultados.

Otros estudios están centrados en sistemas o elementos del edificio en lugar de edificios completos. Por ejemplo, Kovacic et al. (Kovacic, et al., 2016) con el objetivo de apoyar en la toma de decisiones sobre sistemas de fachadas para edificios industriales, desarrollaron una herramienta de análisis ambiental y económico del ciclo de vida. Los investigadores evaluaron tres sistemas de fachada y determinaron que los costes de construcción eran menos significativos pasados los 35 años de vida útil. Sobre la dimensión medioambiental, la madera laminada produjo un 80% menos de emisiones en comparación con estructura de acero y paneles sándwich, tal y como se esperaba.

Actualmente en los productos, materiales y residuos hay una propensión a aplicar metodologías más simples, rápidas y que sean de fácil comprensión para que la población pueda utilizar de manera directa, como por ejemplo la Huella de Carbono (HC) o la energía incorporada (EI) (Bovea & Powell, 2016). También la Huella Hídrica (HH), que junto a HC generan resultados fácilmente entendibles. Además, sus aplicaciones en las políticas medioambientales son sencillas y facilita la tomada de decisiones (Bare, et al., 2000), (Martínez-Rocamora, et al., 2016). Los indicadores HC y HH son propicios para convertirse en indicadores ambientales dentro de los concursos públicos para desarrollar legislación aplicado a la sostenibilidad del ciclo de vida del edificio (CVE) (Rivero Camacho, 2020).

El indicador HC tiene como objetivo medir la cantidad total de emisiones de GEI y se expresa en unidades de kilogramos de CO₂ equivalente. Asimismo, la HC involucra la EI, que se mide en mega julios (MJ) y cuantifica la energía consumida por todos los procesos asociados



a la construcción de un edificio (desde la extracción de los recursos naturales hasta el uso en obra).

Por otro lado, el indicador HH mide el volumen agua consumida de manera directa (agua consumida desde la red de suministro) o indirecta (agua virtual). El agua virtual (AV) se podría definir como los m³ de agua dulce utilizada para producir los materiales usados en la construcción, considerando la utilización desde la cuna hasta la producción del material.

3.1.1 Huella de carbono

El indicador HC tiene una relación con los objetivos principales del Protocolo de Kioto, debido su facilidad de entendimiento por el público no especializado y simple aplicación en la tomada de decisiones en la política ambiental (Geng, et al., 2017). El HC tiene por objetivo determinar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por un proceso (Bare, et al., 2000), que se basa también en los datos de ACV. El indicador se expresa en unidades de kilogramos de CO₂ equivalente (Weidema, et al., 2008), siendo calculado siguiendo las metodologías GHG Protocol y PAS 2050 (Pérez Leal , 2012).

Medir la HC de una edificación sirve para identificar las fuentes más impactantes de GEI de los materiales utilizados en su construcción. A través de esa medición, se permite tomada de decisiones más asertivas con relación a las políticas de reducción de emisiones, generando soluciones más efectivas, sostenibles y con el menor costo posible.

Investigadores chilenos realizaron un estudio de HC utilizando como objeto viviendas sociales construidas en Chile, con enfoque en el análisis de ciclo de vida (ACV) tanto en la producción de los materiales de construcción como en la puesta en obra de estos. Lo resultados muestran que 35% de las emisiones corresponden a la producción de los materiales y 65% al uso y mantenimiento de las viviendas, y la energía de la puesta en obra resulta despreciable (Muñoz, et al., 2012). Actualmente, existen diversas revisiones de investigaciones relacionadas con el empleo del indicador HC en construcciones (Geng, et al., 2017) pero ni siempre los resultados son comparables debido a la falta de una metodología que sigan estándares internacionales (Dossche, et al., 2017). Sobre todo, se han realizados estudios para establecer escalas que permitan determinar intervalos aceptables de emisiones de CO₂ en los procesos de construcción (Chastas, et al., 2018).

Actualmente existen algunas herramientas que evalúan el impacto ambiental de proyectos a través de los datos de HC. Las más destacables son LEED o BRREAM, sus metodologías de evaluación abordan diversos aspectos para generar una clasificación final de las emisiones de CO₂ de la fabricación de materiales de construcción y la energía operativa. Además, estas herramientas son las más extendidas en España debido a organismos nacionales, como el consejo de Construcción Verde de España (SPAIN GBC, 2013) y BREEAM Spain (BREEAM ES, 2017). Otras herramientas en España son VERDE (OERCO₂, 2017), que considera el desarrollo urbano (VERDE DU) y ECOMETRO que tiene como objetivo calcular el impacto ambiental de edificios (Asociación Ecómetro, 2017).

El grupo ARDITEC también trabaja en el cálculo de la HC en edificación (Rivero Camacho, et al., 2018) y su metodología tiene como objetivo realizar la aplicación desde una



perspectiva de un presupuesto ambiental, incorporándolo a proyectos de construcción de edificaciones usando banco de datos de costes de la construcción, midiendo todos los recursos necesarios durante el CVE (Rivero Camacho, 2020) (extracción de materia prima, fabricación de materiales de construcción, puesta en obra, renovación y demolición) como se puede ver en el diagrama de la Ilustración 1. Esta metodología se incorporó en una herramienta informática OERCO2 (Solís Guzmán, et al., 2018) que es un software de línea de código abierto para el cálculo de la HC en la construcción nuevos edificios residenciales. El software fue desarrollado para ser utilizado por usuarios no especializados.

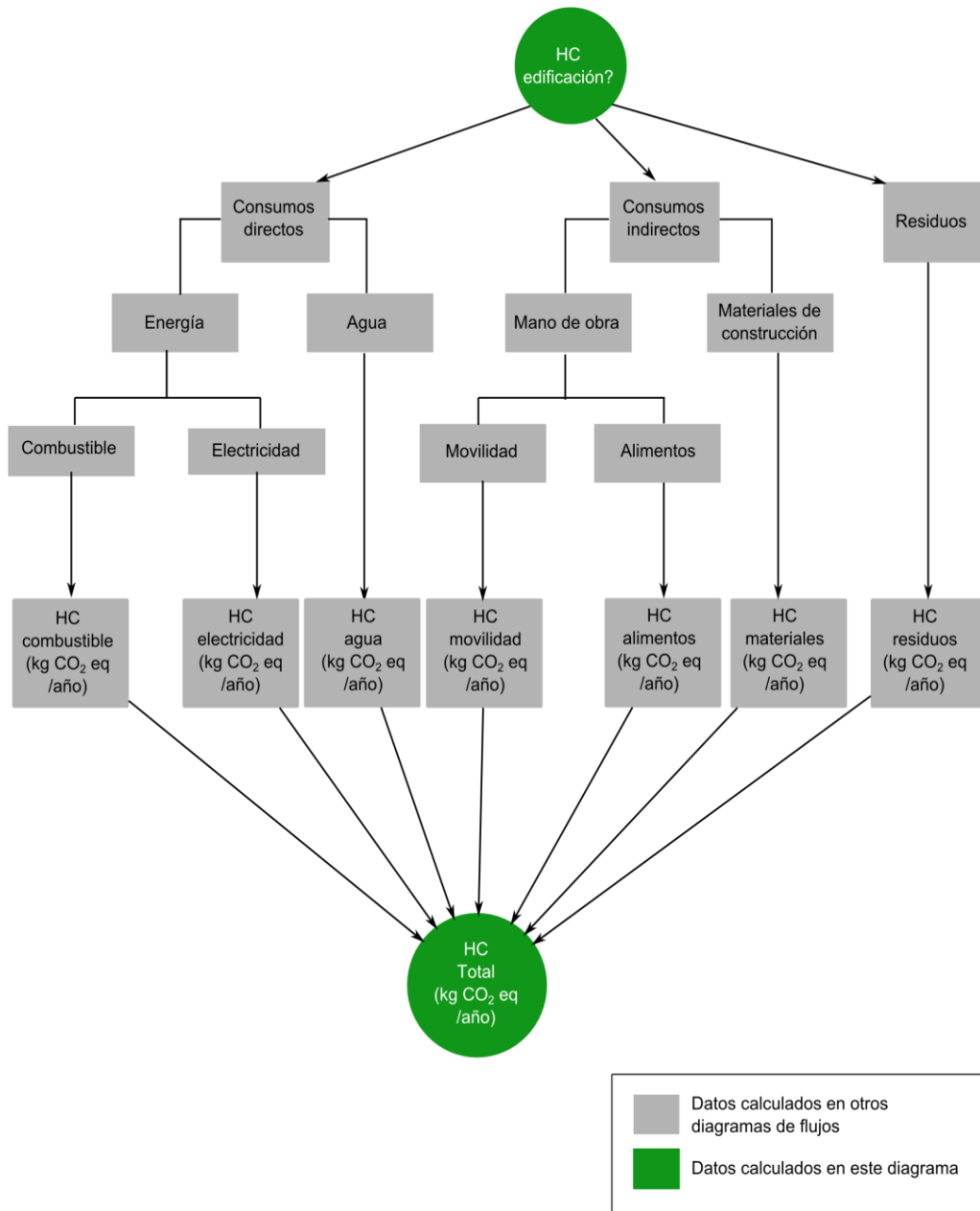


ILUSTRACIÓN 1 - DIAGRAMA DE FLUJOS GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE HC. FUENTE: (GONZÁLEZ-VALLEJO, ET AL., 2013)



3.1.2 Huella hídrica

El indicador HH fue creado para evaluar los consumos hídricos desde una perspectiva más completa. Según Hoekstra y Hung (2002), el HH es definido como el volumen total de agua dulce utilizado para producir bienes y servicios que son consumidos por un individuo o una comunidad. La unidad utilizada para medir este indicador es el m³ y se considera el volumen de agua dulce utilizado de forma directa e indirecta (o AV) (Water Footprint Network, 2011). El consumo realizado de forma indirecta, o más conocido como agua virtual (AV), es cualificado de esa manera por ser el agua que es utilizada en los procesos de fabricación de los materiales y equipos de producción.

Actualmente, la mayoría de las investigaciones realizadas relacionadas con el impacto hídrico, están enfocadas en la cuantificación del AV. Además, la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2015) aprobó la primera norma internacional sobre la HH, ISO 14046, que determina los requisitos y directrices necesarios para la evaluación de productos, procesos y organizaciones, utilizando el ACV. De esa manera, la norma establece los tres tipos:

- **HH azul:** Volumen de agua dulce superficial y/o subterránea utilizada en un proceso fabricación, ver **Error! Reference source not found.**. De manera sencilla, es el consumo de agua facilitado a las empresas y suministradoras;
- **HH verde:** Volumen de agua almacenada en el suelo, como la humedad generada por una precipitación y que no se convierte en escorrentía, y que se incorpora a un proceso de fabricación. En ese caso, el agua mantiene relación con su ciclo natural;
- **HH gris:** Volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de productos y servicios. Se puede decir que es el volumen de agua necesaria para disolver los contaminantes hasta que el agua este en un nivel de calidad aceptable para el ambiente y para los humanos, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental.



ILUSTRACIÓN 2 - TIPOS DE HUELLA DE LA HH. FUENTE: (RIVERO CAMACHO & MARRERO MELÉNDEZ, 2021)



Se puede analizar la HH de los edificios desde una perspectiva global (Chang, et al., 2016) utilizando un análisis input-output de los consumos en el país o de modelos que evalúan los componentes de proyectos de construcción (Meng, et al., 2014). Siguiendo la línea de evaluación por componentes, el grupo ARDITEC también investiga el indicador HH, partiendo el inventario de recursos del control económico de los proyectos (Ruiz Pérez, et al., 2020).

3.2 Herramientas para la evaluación del impacto medio ambiental en la construcción

En España existen diversas herramientas que se puede utilizar en la evaluación de proyectos y/o también para calcular las emisiones de CO₂ con relación a los precios del proyecto. Como se puede ver en el siguiente listado:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology);
- LEED (Leadership in Energy & Environmental Design);
- ECOMETRO;
- La base de datos de costes BEDEC;
- SOFIAS;
- E2CO2Cero.

Sin embargo, no se emplean de manera generalizada en España, dado principalmente a falta de conocimientos necesarios para manejar la herramienta y también a sus altos costos para implantación, como es el pago de licencias para su uso.

En lo que respecta a proyectos de edificios industriales, recientemente, el grupo de investigación ARDITEC, está desarrollando una plataforma de recursos educativos en abierto, REA, destinada a universitarios, profesores, investigadores y empresas quieran adquirir conocimientos sobre los métodos de estimación del impacto ambiental. En la página web oficial (www.recoverind.eu) se puede mirar la Ilustración 3, que representa el objetivo principal de la plataforma RecoverIND, que en sentido horario del reloj son: innovación docente, industria, transporte de materiales, construcción, gestión de residuos, potencial de reciclaje y digitalización en el ciclo de vida de los edificios industriales (Marrero, et al., 2022). Por ello y debido a la vinculación directa con los objetivos del presente trabajo, RecoverIND será una herramienta de ayuda que será adaptada para atender a los parámetros y criterios de esta investigación a fin de calcular la HC y HH generado por los materiales de construcción de las tipologías seleccionadas.



ILUSTRACIÓN 3 - PÁGINA DE INICIO CON EL MENÚ DEL SITIO WEB RECOVERIND PARA HERRAMIENTAS DE ENSEÑANZA (FUENTE: (MARRERO, ET AL., 2022))

3.3 Legislación

Para fomentar un desarrollo sostenible en el sector público en España, se dictó la ley LPSC_9/2017, publicada en el BOE nº 272 de 09/11/2017, que regula los contratos públicos y establece un marco que involucra criterios económicos, ambientales y sociales. Dos años más tarde, el concepto de contratación pública verde se incorporó a la legislación con políticas medioambientales relacionadas con el cambio climático y la producción y el uso recursos de manera sostenible (Orden, P. C. I. 86/2019, de 31 de enero (BOE), 2019) que establece requisitos de sostenibilidad al transporte, la construcción de carreteras, el diseño y la construcción de oficinas, la alimentación, etc. Estas legislaciones fomentan el uso de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) (Lützkendorf, 2019) que incorporan el inventario de ACV de los productos, y evalúan el uso y la eficiencia de los recursos materiales y puedan ser empleadas como criterio de contratación (ISO 14040, 2006).



4 METODOLOGÍA

La metodología seguida para el presente trabajo se resume en la Ilustración 4. Se organiza en una estructura dividida en tres fases: desarrollo, aplicación y validación del modelo. A su vez, se establecen sub-niveles en función del orden de ejecución de cada una de las tareas necesarias para la consecución de los objetivos:

Fase 1: Desarrollo del modelo

- Banco de datos de mediciones de proyectos
 - Recolección y estructuración de datos;
 - Clasificación de los datos.
- Banco de precios (económico y ambiental)
 - Creación de la base de datos económica;
 - Aplicación de los indicadores ambientales.
- Asociación de datos

Fase 2: Aplicación del modelo

- Selección de la tipología;
- Selección de datos específicos;
- Presupuestos económicos y ambientales;
- Análisis de la eficiencia ambiental y propuesta de cambio de soluciones constructivas.

Fase 3: Validación del modelo

- Análisis y validación de los resultados.

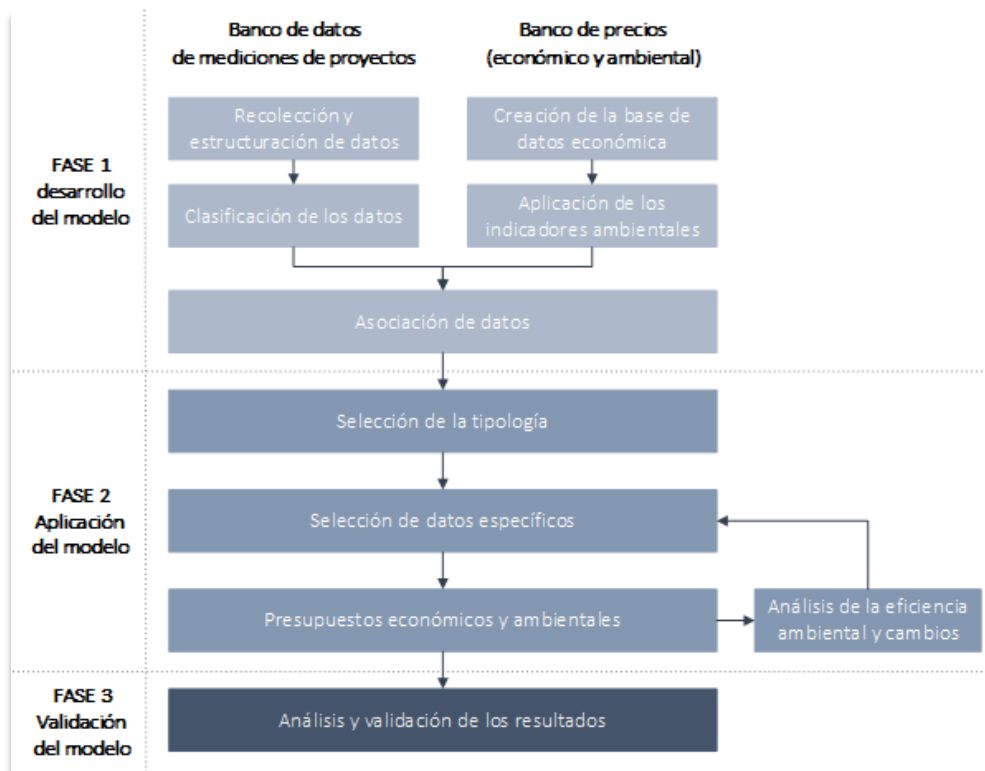


ILUSTRACIÓN 4 - MAPA METODOLÓGICO DEL MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE NAVES INDUSTRIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



4.1 Desarrollo del modelo

La herramienta fue desarrollada en Excel para posibilitar la evaluación integral, rápida y fácil del costo-beneficio del impacto ambiental (HH y HC) y precio de construcción de nuevas naves industriales. En los apartados a continuación se muestra de manera detallada como se construyó la herramienta.

4.1.1 Banco de datos de mediciones de proyectos

Este subcapítulo se centra en el desarrollo del modelo de cuantificación de recursos por tipologías de naves industriales para que posteriormente sea posible integrar a los índices de impacto ambientales (HH y HC) y los costes.

4.1.1.1 Recolección y estructuración de datos

El grupo de investigadores de la Universidad de Sevilla hicieron una recolección de datos de 87 naves industriales reales de las regiones de Alcalá, Carmona y Mairena, en la provincia de Sevilla (España). La recolección de datos se realizó a través de encuestas en la que es posible rellenar hasta 56 campos con datos cuantitativos de los elementos constructivos que componen cada nave. Los modelos de encuestas se pueden consultar en las Anexo 1 y Anexo 2.

Los datos se pasaron a Excel de manera estructurada y se generaron los Qi que representan las mediciones de cada elemento constructivo dividido por la superficie construida para poder determinar las cantidades de recursos consumidos de forma unitaria.

La estimación de los Qi's de las naves son una pieza clave pues estos coeficientes serán tomados como referencia para determinación de cantidad de materiales necesarios para otros proyectos con características similares. Generando una mayor versatilidad debido a la posibilidad de aplicación del modelo con proyectos de configuraciones constructivas diferentes.

4.1.1.2 Clasificación de los datos

En el siguiente paso es necesario establecer tipologías que permiten agrupar proyectos con características similares. Esa acción es fundamental para la aplicación correcta del modelo en nuevos proyectos que deben tener claramente definidas las características principales que controlan la tipología, pues las tipologías se convierten en criterios para definir los Qi's en el momento del cálculo de impacto económico y ambiental.

Se han clasificado los proyectos de acuerdo con las características recogidas en las encuestas (Anexo 2). Los criterios utilizados fueron:

- Altura de la nave;
- Número de plantas;
- Si hay plantas adicionales o no;
- Tipo de cimentación;
- Tipo de estructura;
- Tipo de la cubierta.



Las opciones de soluciones constructivas posibles para cada criterio partiendo de los datos recogidos en las encuestas se resumen en la Tabla 1.

<p>La altura de la nave:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5-7,5 • 7,5-10 • 3,5-5 • >10 	<p>Número de plantas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 • 2 • 3 	<p>Si hay plantas adicionales o no:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay • Entreplanta • Sótano + entreplanta • Sótano
<p>El tipo de cimentación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zapatas aisladas (A) • Zanjas corridas (C) • Pilotes (P) • Zapatas aisladas (A) - Zanjas corridas (C) • Losas (L) 	<p>El tipo de la estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metálica (M) • Hormigón (H) • Mixta 	<p>El tipo de la cubierta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inclínada (I) • Inclínada (I) y Horizontal (H)

TABLA 1 - OPCIONES CONSTRUCTIVAS PARA CADA CRITERIO

Tras las combinaciones y análisis se detectaron 22 tipologías diferentes donde las características de cada una se resumen en la Tabla 2.

Tipología	Cantidad de Proyectos	Altura de la nave (rango)	Cantidad de niveles	Planta adicional	Tipo cimentación	Tipo estructura	Tipo cubierta
1	4	5-7,5	1		Zanjas corridas (C)	Metálica (M)	Inclínada (I)
2	1	7,5-10	1		Zanjas corridas (C)	Metálica (M)	Inclínada (I)
3	12	7,5-10	1		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
4	3	3,5-5	1		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
5	43	5-7,5	1		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
6	1	>10	1		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
7	1	7,5-10	1	Entreplanta	Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
8	1	>10	2		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I) y Horizontal (H)
9	1	7,5-10	2		Zanjas corridas (C)	Hormigón (H)	Inclínada (I) y Horizontal (H)
10	1	5-7,5	1		Pilotes (P)	Mixta	Inclínada (I)
11	1	7,5-10	1		Zanjas corridas (C)	Hormigón (H)	Inclínada (I)
12	2	7,5-10	1		Zapatas aisladas (A)	Hormigón (H)	Inclínada (I)
13	1	7,5-10	1	Sótano + Entreplanta	Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
14	4	5-7,5	1	Entreplanta	Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
15	1	5-7,5	1	Entreplanta	Zapatas aisladas (A) - Zanjas corridas (C)	Mixta	Inclínada (I)
16	2	>10	2		Pilotes (P)	Hormigón (H)	Inclínada (I)
17	1	>10	2		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
18	1	5-7,5	2		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
19	3	7,5-10	2		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)
20	1	7,5-10	1	Entreplanta	Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I) y Horizontal (H)
21	1	7,5-10	2	Sótano	Losas (L)	Metálica (M)	Inclínada (I)
22	1	7,5-10	3		Zapatas aisladas (A)	Metálica (M)	Inclínada (I)

TABLA 2 - TIPOLOGÍAS IDENTIFICADAS



Finalmente tenemos un banco de datos con la cantidad recursos por superficie construida de naves industriales de 22 tipologías diferentes.

4.1.2 Banco de precios (económico y ambiental)

Ese subcapítulo se centrará en la consecución de una base de datos económica y ambiental robusta y fiable que será integrada a los Qi's en el subcapítulo anterior a fin de generar un análisis del costo-beneficio que promocióne la economía circular de acuerdo con las soluciones constructivas seleccionadas en nuevos proyectos de naves industriales.

4.1.2.1 Creación de la base de datos económica

Para la creación de la base de datos económica se utilizará los 56 conceptos usados en las encuestas (Anexo 1) para buscar opciones constructivas y precios, porque son los conceptos que tienen datos de mediciones. Las opciones constructivas y precios se basarán en la codificación de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA), debido ser considerada de una solidez demostrada y adecuada para los objetivos del trabajo (Marrero & Ramirez-De-Arellano, 2010). Y las soluciones constructivas que nos existían en la BCCA fueron creadas.

La estructura de la BCCA para la composición de los precios se puede ver en la Ilustración 5, donde es una estructura piramidal que presenta desde de su vértice los capítulos de obra que clasifica tareas que forman parte de proyectos de las edificaciones, como, por ejemplo: cimentación, saneamientos, estructuras, instalaciones, etc. Luego tenemos respectivamente los precios unitarios, auxiliares y básico que son subdivisiones siguiendo la estructura de costes establecidas por la Ley de Contratos del Sector Público (Real Decreto 1098/2001) y su reglamento de desarrollo para asignar los costes directos de cada unidad de obra. Con el precio unitario se obtiene el precio de cada actividad específica, y con la incorporación de sus recursos, el presupuesto total de la obra.

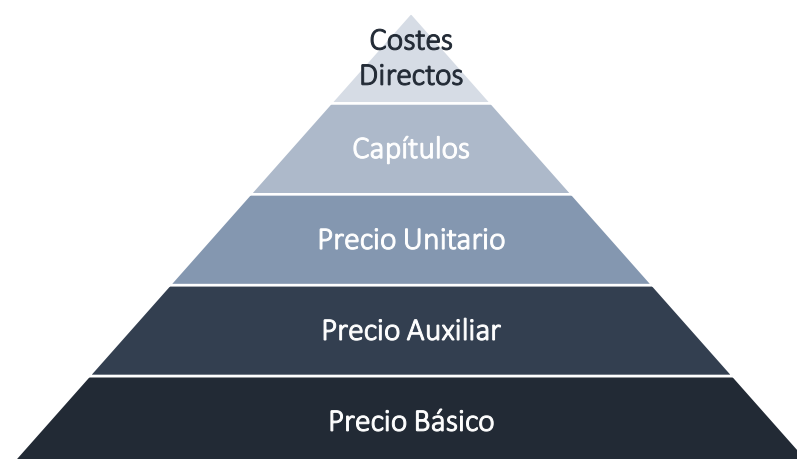


ILUSTRACIÓN 5 - LA ESTRUCTURA DE LA BCCA PARA LA COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LA CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA (BARÓN CANO, ET AL., 2017)

Fueron utilizadas 140 precios de soluciones constructivas de la BCCA, pero todavía faltaran algunas soluciones constructivas para hacer la herramienta más completa para el ramo de la construcción industrial. Entonces 16 precios fueron creados con apoyo de la



herramienta en línea “Generador de precios de la construcción” (CYPE Ingenieros, S.A.) que genera los elementos que componen la solución constructiva y sus rendimientos. Después que se sabe los elementos necesarios y los rendimientos de cada ítem, es necesario buscar algún elemento similar en la BCCA. Es posible usar valor de un Precio Auxiliar o Precio Básico. Teniendo los elementos constructivos necesarios, sus cantidades y los precios de la BCCA luego se genera el precio unitario, estando listo para ser enlazado a un Qi. La Tabla 3 presenta los precios unitarios creados.

CÓDIGO	CONCEPTO	PRECIO (€/m ²)	GRUPO (DATOS ESPECIF)
13EPP90001	PINTURA PÉTREA LISA AL CEMENTO EXTERIOR	18,29	Acabados Fachada
10AWW90050	REV. FACHADAS. VENT. PLACA PIEDRA ARENISCA APOMAZADA 60x40x2 cm	91,28	Acabados Fachada
10CWW09005	REVESTIMIENTO MONOCAPA CON ÁRIDOS SOBRE ENFOSCADO	26,26	Acabados Fachada
10AWW90040	REV. FACHADAS. VENT. PLACA CERÁMICA 28 mm	70,53	Acabados Fachada
12LT180016	ACRIST. TERMOACÚSTICO DOS LUNAS PULIDAS INCOLORAS 6 mm	49,10	Acristalamientos
12LT186124	ACRIST. TERMOACÚSTICO DOS LUNAS PULIDAS INCOLORAS CON BAJA EMISIVIDAD 6 mm	49,10	Acristalamientos
12LT190020	ACRIST. TERMOACÚSTICO DOS LUNAS PULIDAS INCOLORAS CON BAJA EMISIVIDAD 6 mm	49,10	Acristalamientos
12LT190040	ACRIST. TERMOACÚSTICO DOS LUNAS PULIDAS INCOLORAS CONTROL SOLAR 6 mm	49,10	Acristalamientos
05FWW00001	LOSAS DE PLACAS ALVEOLARES PREFABRICADAS DE HORMIGÓN PRETENSADO	93,14	Albañilería Fachada
10LMW00020	PANELES ALVEOLARES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO	22,09	Albañilería Fachada
10LMW00030	PREFABRICADA MURO DOBLE CARA	143,31	Albañilería Fachada
10LMW00010	FACHADA PREFABRICADA PANEL SANDWICH DE HA E=14CM	65,81	Albañilería Fachada
04ECW90109	COLECTOR ENTERRADO TUBERIA POLIETILENO 200 mm	28,08	Colectores
07IGF000011	FALDÓN DE PANEL AISLANTE CHAPA CONF. TIPO SANDWICH	37,49	Cubiertas inclinadas
10CEE00101	ENFOSCADO SIN MAESTREAR Y FRATASADO EN PAREDES DE FACHADA	11,23	Enfoscados - Fachada
06DTD00003	TABICÓN DE LADRILLO HUECO TRIPLE 15 cm	13,68	Particiones

TABLA 3 – PRECIOS DE SOLUCIONES DE CONSTRUCTIVAS CREADOS

Los 56 conceptos se han agrupado en 2 categorías: opción fija y opción a elegir. Los conceptos categorizados como “Opción fija” llevan ese nombre porque solo existe una opción de precio unitario cada concepto y el usuario de la herramienta no puede elegir otra opción. Estos conceptos fueron clasificados de esa manera porque son elementos que no suelen tener una gran variedad de opciones en la práctica de la puesta en obra. A continuación, se puede ver en la Tabla 4 los 17 conceptos clasificados como “Opción fija”.

Código	Concepto
02EX	Excavaciones
02RR	Rellenos
03AX	Armaduras
03HM	Hormigones en Masa
04EA	Arquetas y pozos
04VB	Bajantes
05AC	Acero laminado en caliente
05AF	Acero laminado en frío
05HA	Acero Armaduras
05HE	Encofrados
05MX	Madera estructural



06DX	Distrib. Tabiquería (Cám.)
06DY	Distrib. Tabiquería (Part.)
08EC	Circuitos
08ED	Derivaciones
08EL	Puntos de Luz
10CG	Guarnecidos

TABLA 4 - CONCEPTOS CON SOLO UNA OPCIÓN DE PRECIO UNITARIO

Los conceptos categorizados como “Opción a elegir” llevan ese nombre porque algunos tienen más de una opción de precio unitario y además el concepto se unió a un grupo más grande de elementos constructivos. El objetivo es generar opciones dentro de cada elemento constructivo para el usuario de la herramienta pueda seleccionar o no “Datos específicos”.

Estos conceptos fueron categorizados de esa manera porque son soluciones que hacen parte de elementos constructivos que suelen tener una variedad de soluciones constructivas muy diferentes y que pueden impactar más en el resultado total dependiendo de la solución elegida. A continuación, se puede ver en la Tabla 5 los 39 conceptos clasificados como “Opción a elegir”, los precios unitarios agrupados por concepto y los elementos constructivos en que fueron agrupados.

Código	Concepto	Cantidad	Elementos constructivos
10AA	Alicatados	5	Acabados Fachada
10AC	Chapados	3	Acabados Fachada
13EX	Pinturas Exteriores	4	Acabados Fachada
13IX	Pinturas Interiores	4	Acabados interiores
12XX	Acristalamientos	4	Acristalamientos
09AX	Aislamientos Acústicos	3	Aislamientos Acústicos - Paredes y Aislamientos Acústicos - Suelos
09TX	Aislamientos Térmicos	6	Aislamientos Térmicos - Paredes y Aislamientos Térmicos - Suelos
06LX	Fcas. Ext. Ladrillo	4	Albañilería Fachada
06PA	Prefabricados metálicos	1	Albañilería Fachada
06PH	Prefabricados hormigón	3	Albañilería Fachada
10RX	Remates y alfeizares	7	Alfeizar
10RX	Remates y alfeizares	8	Remate y Albardilla
08CA	Aparatos climatización y agua caliente	8	Aparatos climatización y Unidades Terminales
08FS	Aparatos Sanitarios	4	Aparatos Sanitarios
08FF	Canalización Agua	4	Canalización Agua
08CC	Conductos climatización	4	Canalizaciones (tuberías)
04EC	Colectores	2	Colectores
08EP	Conductor Puesta Tierra	1	Conductor Puesta Tierra
07HX	Cubiertas Horizontales	6	Cubiertas horizontales
07IX	Cubiertas Inclınadas	8	Cubiertas inclinadas
03EX	Encofrados	2	Encofrados
10CE	Enfoscados	2	Enfoscados - Fachada y Enfoscados - Particiones
05HH	Hormigones Armados (estructura)	2	Estructura
10TX	Falsos Techos	5	Falsos Techos
05FX	Forjados	2	Forjados



06BZ	Muros Bloques	1	Muros
06LZ	Muros de ladrillo	1	Muros
03CP	Pilotes	1	Hormigones Armados (cimentación)
03HA	Hormigones Armados (cimentación)	4	Hormigones Armados (cimentación)
06LY	Fcas. Int. Ladrillo	5	Particiones
11AX	Carpintería Acero	3	Puertas y Ventanas
11LX	Carpintería Aluminio	4	Puertas y Ventanas
11MX	Carpintería Madera	3	Puertas y Ventanas
10SC	Solados cerámicos	9	Solados en pequeñas sup. y Solados principales
10SN	Solados piedras naturales	4	Solados en pequeñas sup. y Solados principales
10SX	Soleras ligeras	1	Solerías
10SY	Soleras semipesadas	1	Solerías
10SZ	Soleras pesadas	1	Solerías
08ET	Tomas de Corriente	3	Tomas de Corriente
02TX	Transportes	2	Transportes

TABLA 5 - CONCEPTOS CON MÁS DE UNA OPCIÓN DE PRECIO UNITARIO

En la Tabla 6 se puede ver la cantidad de soluciones constructivas disponibles para selección del usuario.

Elementos constructivos	Cantidad de soluciones
Acabados Fachada	12
Acabados interiores	4
Acristalamientos	4
Aislamientos Acústicos - Paredes	1
Aislamientos Acústicos - Suelos	2
Aislamientos Térmicos - Paredes	3
Aislamientos Térmicos - Suelos	3
Albañilería Fachada	8
Alfeizar	7
Remate y Albardilla	8
Aparatos climatización	6
Unidades Terminales	2
Aparatos Sanitarios	4
Canalización Agua	4
Canalizaciones (tuberías)	4
Colectores	2
Conductor Puesta Tierra	1
Cubiertas horizontales	6
Cubiertas inclinadas	8
Encofrados	2
Enfoscados - Fachada	1
Enfoscados - Particiones	1
Estructura	2
Falsos Techos	5
Forjados	2
Hormigones Armados (cimentación)	5
Muros	2



Particiones	5
Puertas	4
Ventanas	6
Solados en pequeñas sup.	13
Solados principales	13
Solerías	3
Tomas de Corriente	2
Transportes	2

TABLA 6 - CANTIDAD DISPONIBLES DE SOLUCIONES POR ELEMENTO CONSTRUCTIVO

Por último, fue adicionado a la base de datos económicas elementos constructivos que no serán relacionados a los Qi's. Estos elementos son ascensores y montacargas que son ítems muy valorados en la industria, los ascensores para la movilidad y accesibilidad de empleados y sus clientes como también los montacargas para mover mercancía de diferentes dimensiones y pesos dentro de la nave. Como estos elementos son importantes, pero no están presentes en todos los tipos de naves industriales, ellos estarán disponibles para selección, además de su cantidad necesaria, serán "Datos específicos".

4.1.2.2 Aplicación de los indicadores ambientales

Para que sea posible la unificación de criterios en todas las fases de evaluación de la herramienta es necesario crear una base de datos que combina la información económica con la ambiental, por esto fue incorporado los indicadores de la HH y HC al presupuesto de la edificación, es decir, a cada precio unitario incluido en la base de datos económica se calculó su impacto ambiental.

Según la metodología definida en el artículo "Ecological Footprint in Indirect Costs of Construction" (Freire-Guerrero & Marrero, 2015), el primer paso para obtener los indicadores ambientales (HH y HC) consiste en realizar la conversión de la unidad de medida de origen de cada precio básico (m², m, t, m³, etc) a m³, de manera que sea posible aplicar la densidad establecida en documentos de apoyo, como el Catálogo de Soluciones Constructivas del Código Técnico de la Edificación (IETcc, 2011) y el Documento Básico de Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006), y de ese modo obtener el peso de cada elemento. En la Tabla 7 se puede ver ejemplos de cómo se calcula el peso de algunos precios básicos.

Código ACCD	Costes (€)	Unidad	Precio básico	Volume (m ³)			Densidad (kg/ m3)	Peso (kg)
				X	Y	Z		
AG00100	10,86	m 3	GRAVA	1,00	1,00	1,00	1.784,00	1.784.000
CA80030	3,78	kg	ARMADURA TRIANGULADA DE ACERO AHT-500	1,00	1,00	1,00	1,00	1.000
CH80200	157,08	m 3	HORMIGÓN LIGERO AISLANTE HL-25	1,00	1,00	1,00	2 549,25	2549.250
FB80200	2.14	u	BLOQUE HORM. ALIGERADO MACIZO 50X20X25 cm	0,50	0,20	0,25	900,00	22.500
IE02600	4,43	m	CABLE COBRE 1x16 mm2 H07V-K(AS)	1,00	16h00	10 ⁻⁶	880,00	0,0144
PA00500	1,71	Kg	PINTURA ACRÍLICA	1,00	1,00	1,00	1,00	1.000
QP00800	3,99	m	TAPAJUNTA CHAPA LISA PARA PANEL SANDWICH - ACAB. POLIÉSTER	1,00	0,50	0,005	1.140,00	2.085
QP02000	22.70	m 2	PANEL SANDWICH 30 mm ACABADO INT. Y EXT. EN POLIÉSTER	1,00	1,00	0,03	1.223,64	36.709



RA00300	0,17	u	AZULEJO COLOR LISO SUAVE 15x15 cm	0,15	0,15	0,01	2.300,00	0,518
WW00300	0,55	u	MATERIAL COMPLEMENTARIO O PZAS. ESPECIALES	0,10	0,005	0,005	8.004,65	0,020

TABLA 7 - CÁLCULO DO PESO DOS ELEMENTOS BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN. FUENTE: (MARRERO, ET AL., 2022)

Con los pesos definidos, los coeficientes de los impactos ambientales por kg son calculados a través del software de ACV Simapro (PRé Sustainability, 2016), junto con la base de datos de Ecoinvent (Frischknecht, et al., 2005). Ecoinvent fue elegida debido ser considerada una de las bases de datos de materiales de construcción más completas a nivel europeo (Martínez-Rocamora, et al., 2016) y por su buena integración el software de Simapro. Una vez obtenida todos los coeficientes de impacto ambiental, tanto de HH como de HC, se aplica la Ecuación 1.

ECUACIÓN 1 – CALCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (HH Y HC)

$$I_{MAT} = (\sum i C_{m_i} \times IU_{MAT}) + (IU_{TRAN} \times C_{m_i})$$

Donde:

I_{MAT} = Impacto ambiental del material de construcción (kg CO₂ eq/kg, m³ agua/kg)

IU_{MAT} = Impacto unitario da fabricación por kg de material (kg CO₂ eq/kg, m³ agua/kg)

IU_{TRAN} = Impacto unitario do transporte por kg de material (kg CO₂ eq/kg, m³ agua/kg)

C_{m_i} = Consumo de material de construcción i (kg).

La Ilustración 6 resume la metodología que combina la clasificación sistemática de costes de construcción con el impacto ambiental.

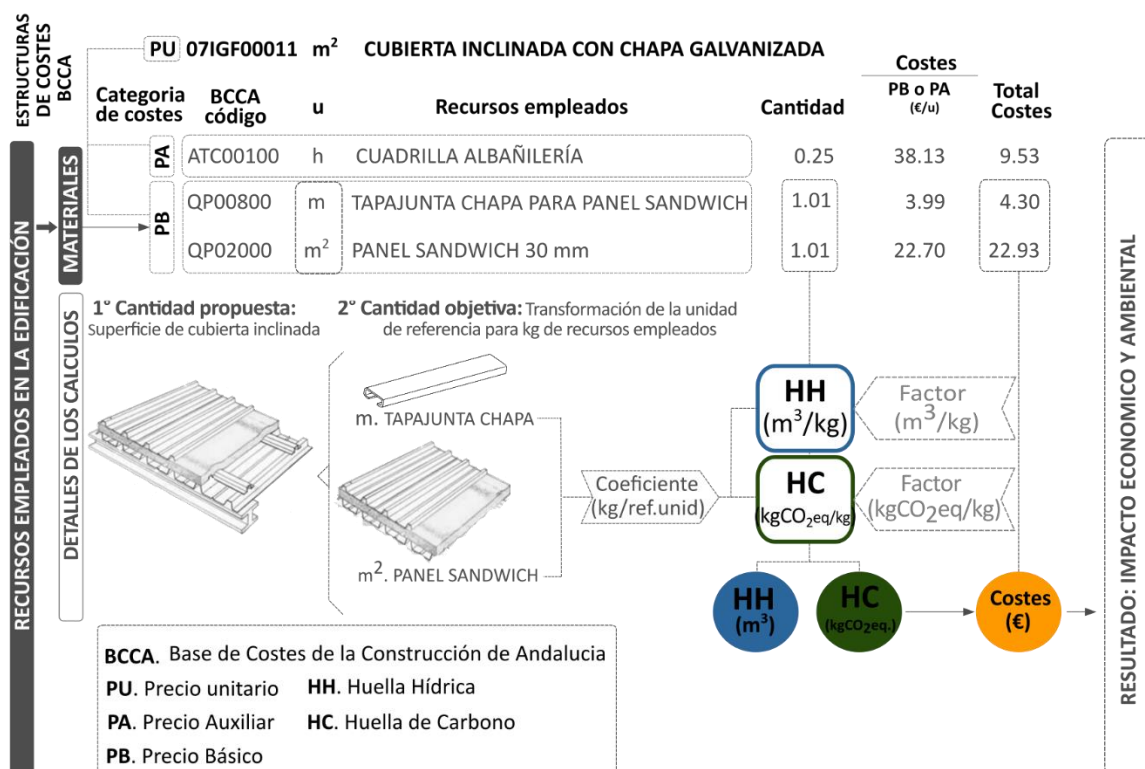


ILUSTRACIÓN 6 - EJEMPLO DE CÁLCULO DE IMPACTOS AMBIENTALES EN UN PRECIO UNITARIO DE CUBIERTA. FUENTE: (MARRERO, ET AL., 2022)



Siguiendo el esquema presentado en la Ilustración 6, en el presente trabajo se han creado 156 precios unitarios que integran el precio económico y ambiental de los indicadores analizados.

4.1.3 Asociación de datos

Se fusionan los datos obtenidos en banco de datos de mediciones de proyectos y en el banco de precios (económico y ambiental) dando lugar a una herramienta que permite calcular los costes económicos y ambientales totales para 22 tipologías diferentes de naves industriales. Se permite también cambiar soluciones constructivas para hacer comparaciones del ámbito económico y ambiental además de posibilitar la incorporación de ítems adicionales como ascensores y montacargas.

Todos los elementos fueron conectados con sus debidos Qi's, excepto los solados que fueron relacionados con los Qi's de soleras pesadas. Como los Qi's referentes a solados estaban con valores muy bajos, ellos eran probablemente referentes a pequeñas áreas con solados diferentes del resto de las naves, que, de manera general, analizando los valores de los Qi's, usaban algún tipo de solera como solado principal. De esa manera, no se puede aplicar un Qi tan bajo a los precios, pues el área de cobertura del suelo no sería próxima al 100%, por eso se enlazo los precios de los solados a soleras pesadas, porque son la opción de solera con valor más próximo a 1 y menor desviación media ($\sigma = -0,02$), conforme la Tabla 8.

Los Qi's referentes a solados fueron enlazados con solados pero que aparecen en la herramienta como opción de "Solados en pequeñas sup."

TIPOLOGIA	Soleras ligeras	σ	Soleras semipesadas	σ	Soleras pesadas	σ
1	0,86	-0,14	0,98	-0,02	1,26	0,26
2	0,86	-0,14	1,11	0,11	0,98	-0,02
3	0,86	-0,14	1,23	0,23	0,84	-0,16
4	0,86	-0,14	1,00		0,92	-0,08
5	0,86	-0,14	0,93	-0,07	1,06	0,06
6	0,86	-0,14	0,94	-0,06	1,07	0,07
7	0,86	-0,14	1,00		0,98	-0,02
8	0,86	-0,14	1,43	0,43	0,98	-0,02
9	0,86	-0,14	0,94	-0,06	1,03	0,03
10	0,86	-0,14	0,94	-0,06	1,00	
11	0,86	-0,14	0,20	-0,80	0,98	-0,02
12	0,86	-0,14	0,94	-0,06	1,13	0,13
13	0,86	-0,14	0,94	-0,06	0,82	-0,18
14	0,01	-0,99	0,70	-0,30	0,92	-0,08
15	0,86	-0,14	1,00		0,98	-0,02
16	0,86	-0,14	0,59	-0,41	0,98	-0,02
17	1,72	0,72	0,94	-0,06	0,98	-0,02
18	0,86	-0,14	0,94	-0,06	0,96	-0,04
19	0,86	-0,14	0,93	-0,07	0,60	-0,40
20	0,86	-0,14	0,94	-0,06	0,90	-0,10
21	0,86	-0,14	0,94	-0,06	0,81	-0,19
22	0,86	-0,14	0,94	-0,06	1,36	0,36
MÉDIAS	0,86	-0,14	0,93	-0,07	0,98	-0,02

TABLA 8 – ANÁLISIS DE DESVIACIÓN APLICADO EN LAS SOLERAS

En el subcapítulo 4.2 se presentará la herramienta lista y sus mecanismos.

4.2 Aplicación del modelo en el desarrollo de herramienta

La herramienta comprende 4 pestañas que permite de manera fácil y sencilla el análisis integral de los impactos económicos y ambientales de un nuevo proyecto de nave industrial que sea personalizado de acuerdo con las necesidades del usuario. Las pestañas son: Selección de tipología, Selección de datos específicos, Presupuestos económicos y ambientales y Análisis de la eficiencia ambiental y cambios de cambios. En los siguientes apartados se presentarán más detalles de cada pestaña.

4.2.1 Selección de la tipología

En la primera pestaña (Ilustración 7) de la herramienta se debe seleccionar los datos iniciales del proyecto, es decir, una solución constructiva para cada criterio, luego poner el valor de la superficie en m^2 y pinchar en el botón “SIGUIENTE PASO”.

Después de seleccionado todos los datos iniciales y llenado el valor de la superficie, la herramienta va a definir de cual tipología se debe coger el proyecto para utilizar los Qi's. En caso de que la tipología seleccionada presente más de un proyecto, la herramienta va a seleccionar, entre las opciones disponibles dentro de la tipología, el proyecto que presente los conceptos clasificados como “Opción fija” con los menores índices de HH y HC. Las informaciones sobre las clasificaciones de los conceptos están disponibles en el apartado: 4.1.2.1 Creación de la base de datos económica.

ILUSTRACIÓN 7 - PESTAÑA INICIAL DEL MODELO: SELECCIÓN DE DATOS INICIALES

4.2.2 Selección de datos específicos

En la segunda pestaña (Ilustración 8) se define el proyecto. En esa fase de la herramienta se permite seleccionar hasta 37 datos específicos del proyecto. En la herramienta, con excepción de las cimentaciones y aparatos sanitarios, solo se puede elegir una opción de solución constructiva para cada elemento constructivo. O también hay la posibilidad de seleccionar la opción “No aplicable”.

En el caso del elemento constructivo “Cimentaciones”, en la parte de “Hormigones Armados y Prefabricados”, solo van a estar disponibles precios unitarios que concuerden con



la cimentación elegida en la pestaña inicial. Por ejemplo, si en la fase de datos iniciales se elige “Zapatas Aisladas (A)” en la pestaña de datos específicos los pilotes, losa y vigas no van a estar disponibles para su selección y aparecen con la fuente en color rojo y una “X” antes del texto, como se puede ver en la Ilustración 8.

Sobre los “Aparatos Sanitarios”, es posible elegir más de una opción como: plato de ducha, fregadero, inodoro y lavabo. Ese elemento constructivo se elaboró de manera diferente debido a los baños en general presentaran una gran variedad de combinaciones.

SELECCIONE LOS DATOS ESPECÍFICOS:

Limpiar valores

Itens seleccionados
34/37

Impacto HH

Impacto HC

RESULTADO

ACONDICIONAMIENTO TERRENOS			
Transportes: TRANSPORTE TIERRAS, DIST. MÁX. 5 km CARGA M. MECÁNICOS	0,051 m ³ /m ²	14,33 kgCO ₂ eq/m ²	3,037 €/m ²
CIMENTACIONES			
Encofrados: ENCOFRADO DE MADERA	2,431 m ³ /m ²	-3,99 kgCO ₂ eq/m ²	15,67 €/m ²
Hormigones Armados y Prefabricados:			
<input type="checkbox"/> X HORMIGÓN HA-30/P/20/IIa EN VIGAS/ZUNCHOS DE CIMENT.	5,299 m ³ /m ²	354,7 kgCO ₂ eq/m ²	73,31 €/m ²
<input checked="" type="checkbox"/> HORMIGÓN HA-25/B/40/IIa EN LOSAS DE CIMENT.	4,416 m ³ /m ²	295,5 kgCO ₂ eq/m ²	71,76 €/m ²
<input type="checkbox"/> X HORM. ARM. HA-30/P/40/IIa B500S EN ZAPATAS Y ENCEPADOS V/MAN	6,477 m ³ /m ²	418,2 kgCO ₂ eq/m ²	124,2 €/m ²
<input type="checkbox"/> X HORM. ARM. HA-30/B/15/IIa B500S EN ZAPATAS Y ENCEPADOS V/BOMBA	6,569 m ³ /m ²	443,7 kgCO ₂ eq/m ²	135,5 €/m ²
<input type="checkbox"/> X PILOTE "IN SITU" ENT. REC/AZUCHE HA-30/F/20/IIa DIÁM. 65 cm	2,702 m ³ /m	164,3 kgCO ₂ eq/m	164,8 €/m
SANEAMIENTO			
Colectores: COLECTOR ENTERRADO TUBERIA POLIETILENO 200 mm.	0,488 m ³ /m	9,946 kgCO ₂ eq/m	28,07 €/m
ESTRUCTURAS			
Forjados: FORJADO VIG. SEMIRR. ARMADURAS PRETEN. BOV. CER. (HA-30)	1,038 m ³ /m ²	63,35 kgCO ₂ eq/m ²	28,29 €/m ²
Hormigones Armados:			
<input checked="" type="checkbox"/> HORMIGÓN PARA ARMAR HA-25/P/20/IIa EN VIGAS	5,300 m ³ /m ²	354,7 kgCO ₂ eq/m ²	82,90 €/m ²
<input checked="" type="checkbox"/> HORMIGÓN PARA ARMAR HA-30/P/20/IIa EN LOSAS	5,303 m ³ /m ²	354,8 kgCO ₂ eq/m ²	83,18 €/m ²
ALBANILERIA			
Albañilería Fachada			
Prefabricados metálicos:			
Prefabricados hormigón: PANELES ALVEOLARES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO	0,905 m ³ /m ²	65,95 kgCO ₂ eq/m ²	22,09 €/m ²
Ladrillo:			
Particiones			
Ladrillo y Yeso: TABICÓN DE LADRILLO HUECO DOBLE 9 cm	0,185 m ³ /m ²	29,87 kgCO ₂ eq/m ²	13,54 €/m ²

ILUSTRACIÓN 8 – SEGUNDA PESTAÑA DEL MODELO: SELECCIÓN DE DATOS ESPECÍFICOS

Cada elemento seleccionado va a tener sus precios económicos y ambientales multiplicados por la superficie construida indicada en los datos iniciales y luego por el Qi correspondiente a su categoría en proyecto elegido. En caso del proyecto no contener mediciones para el elemento seleccionado se utilizará como Qi la media de Qi's de otros proyectos de la misma tipología. Y en caso de la tipología solo contenga un proyecto, se emplea la media general de Qi de todos los proyectos de la base de datos para ese elemento.

Los elementos constructivos adicionales estarán disponibles para selección al final del formulario. Como su cantidad no pueden estar vinculados a ningún Qi, porque no existen datos de mediciones para estos conceptos en la muestra de proyectos, y es necesario introducir la medición directamente (Ilustración 9), después de elegir ascensor o montacargas.

**ASCENSORES Y MONTACARGAS**

Ascensores:

Cantidad:

Montacargas:

Cantidad:

ILUSTRACIÓN 9 - SEGUNDA PESTAÑA DEL MODELO: SELECCIÓN DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS ADICIONALES

Los datos de la HH, HC y costes están disponibles al lado de cada solución constructiva. O si no, al seleccionar una solución constructiva estos parámetros van a aparecer al lado. El objetivo es facilitar la toma de decisiones del usuario sobre cual solución constructiva es la mejor opción estando consciente de los costes e impactos. Además, también se puede ver en la parte superior de la pestaña la cantidad de elementos seleccionados y la situación de la HH y HC en tiempo real, conforme el usuario va seleccionando las opciones.

Al final, después de introducir todas las características y mediciones, el botón “RESULTADO” pasa a la siguiente fase.

4.2.3 Presupuestos económicos y ambientales

Para concluir, la herramienta presenta los resultados en función de las tipologías y elementos constructivos elegidos en las etapas anteriores. Los análisis disponibles en esa pestaña (Ilustración 10) son los siguientes:

- HH total y por superficie;
- HC total y por superficie;
- Precio total y por superficie;
- Cantidad de horas de mano de hora;
- Cantidad de horas de manipulación de maquinarias;
- Costes por superficie y por capítulo del proyecto;
- Consumo de HH y HC por superficie y por capítulo del proyecto;
- Los porcentajes de índices HH y HC que se puede reducir con la selección de soluciones constructivas diferentes;
- El nivel del impacto ambiental de HH;
- El nivel del impacto ambiental de HC.

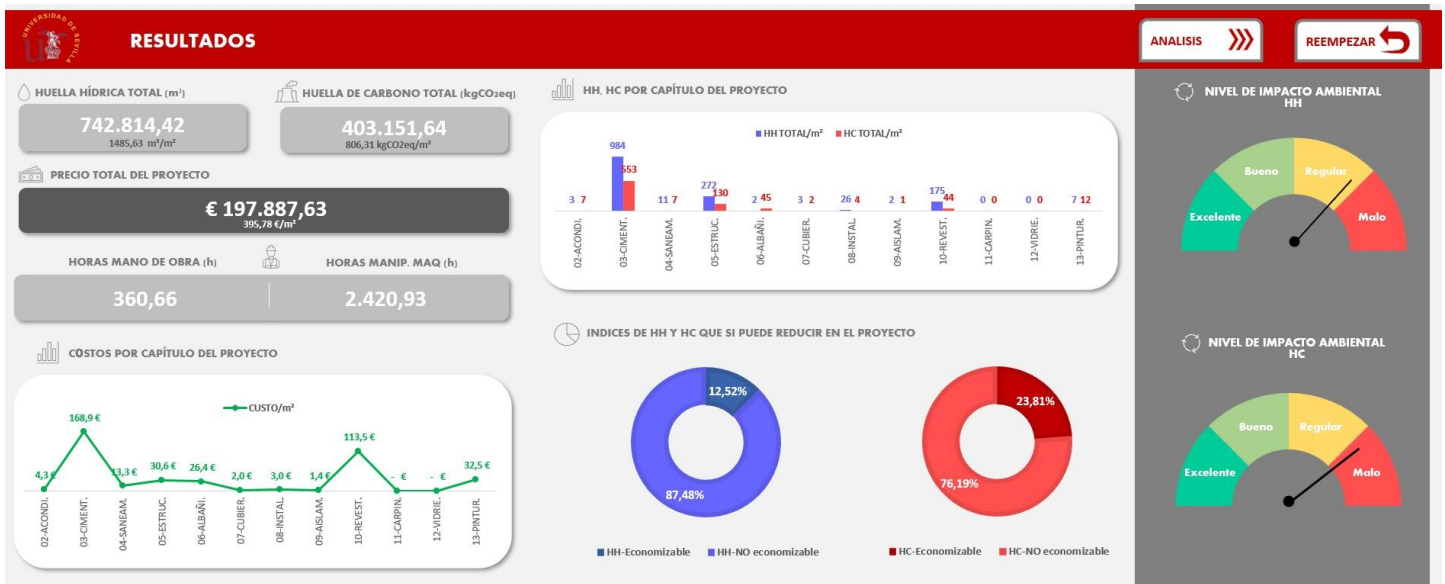


ILUSTRACIÓN 10 – TERCERA PESTAÑA DEL MODELO: RESULTADOS

Hasta la fecha de elaboración de ese trabajo no se encontraron investigaciones que baremen la HH y HC de naves industriales. De esa manera, se utilizó como referencia los datos para construcción de edificios residenciales de la investigación mencionada anteriormente para el rango de Nivel de impacto Ambiental, tanto de HH como de HC.

El rango utilizado para medir el impacto ambiental de HH es basado en el informe “Estimación de la Huella Hídrica de una Promoción Residencial” realizado por investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid (OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2019), donde la referencia asumida para la HH es en torno de 4,6 m³/m² - 5,7 m³/m². Y para facilitar el rango de clasificación en la herramienta se adoptó como nivel “Bueno” emisiones hasta 5,0 m³/m². Esa y las otras categorías se puede ver en la Tabla 9.

Clasificación	Máximo (m ³ /m ²)
Excelente	2,50
Bueno	5,00
Regular	7,50
Malo	>10,00

TABLA 9 - RANGO DEL NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL HH

En el rango para medir el impacto ambiental de HC es basado en el informe “Estimación de la Huella de Carbono de la Promoción Residencial” también realizado por investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid (OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2020), donde la referencia asumida para HC es en torno de 441 kgCO₂eq/m². Y para facilitar el rango de clasificación en la herramienta se adoptó como nivel “Bueno” emisiones hasta 500 m³/m². Esa y las otras categorías se puede ver en la Tabla 10:

Clasificación	Máximo (kgCO ₂ eq/m ²)
Excelente	250
Bueno	500
Regular	750
Malo	>1.000

TABLA 10 - RANGO DEL NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL HC



Los resultados presentados en la fase final de la herramienta permiten al usuario saber el precio económico y ambiental que costará su nueva nave industrial. Con los gráficos se puede analizar cuáles son los capítulos del proyecto generan mayor impacto y luego concluir si las soluciones constructivas fueron bien elegidas o no.

Al final se puede empezar un análisis de un nuevo proyecto pinchando en el botón “REEMPEZAR” o se puede analizar más a fondo el proyecto actual pinchando en el botón “ANÁLISIS”.

4.2.4 Análisis de la eficiencia ambiental y propuesta de cambio de soluciones constructivas

La cuarta y última pestaña de la herramienta (Ilustración 11) es un análisis más a fondo de los elementos constructivos elegibles que fueron seleccionados. Hay una tabla que presenta cada elemento constructivo e indica si la mejor solución constructiva fue elegida. Si la mejor opción no ha sido seleccionada, va a aparecer el nombre de la mejor opción y la diferencia de los coeficientes ambientales (HH y HC) y del precio, por m², en relación con la opción inicialmente seleccionada. Esa información es importante facilitar al usuario en caso de que él quiera volver a los datos específicos ya cambiar la opción.

Al lado derecho en la Ilustración 11, también se puede ver las cantidades totales de HH y HC que serían reducidas si todas las propuestas de cambio de la tabla fueran incorporadas. Y se calcula, el impacto financiero total y por m² que generarían todos los cambios. En caso de que el resultado sea negativo el usuario ahorra dinero, si el resultado es positivo, el usuario tendría que incrementar el presupuesto.

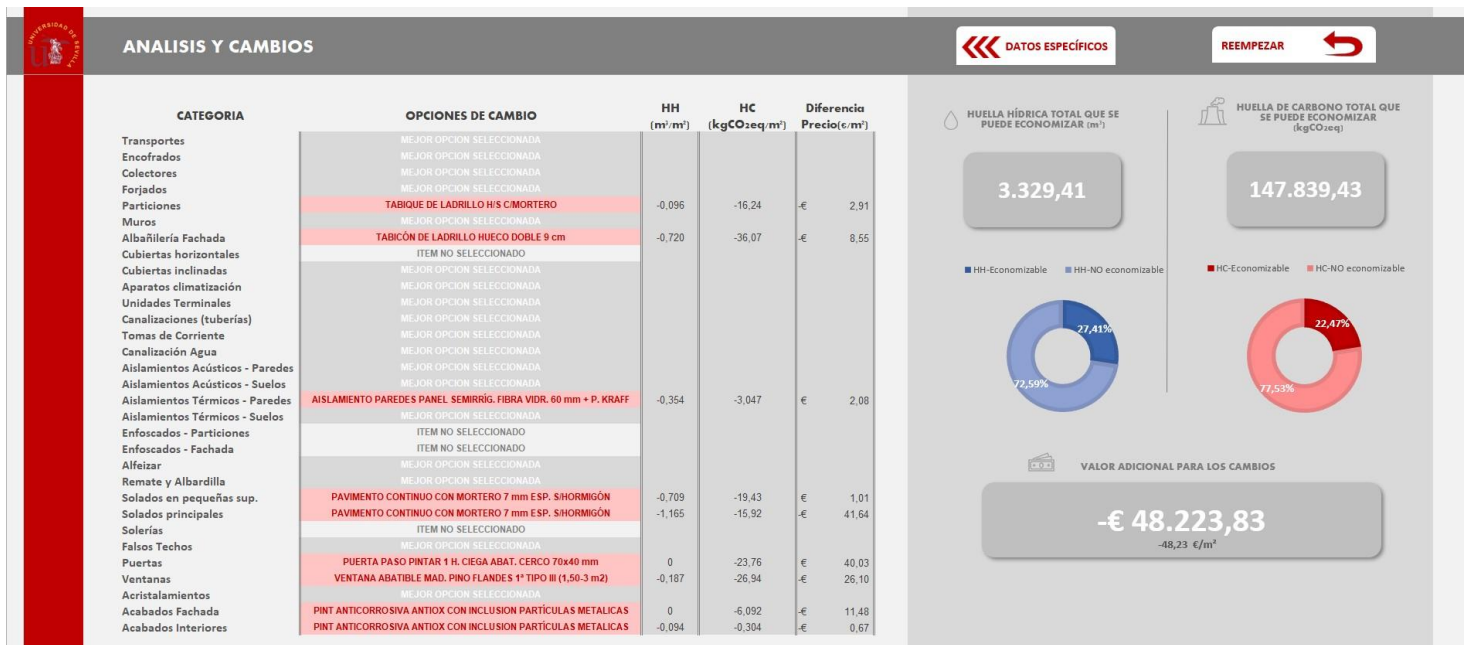


ILUSTRACIÓN 11 – CUARTA PESTAÑA DE LO MODELO: ANÁLISIS Y CAMBIOS



4.3 Validación del modelo

Para validar la herramienta se probarán 5 proyectos reales representando las tipologías más construidas en la muestra de proyectos estudiados, según la Tabla 2. El objetivo es verificar los coeficientes que miden el impacto ambiental (HH y HC) y también probar a la sensibilidad a los cambios de soluciones constructivas.

4.3.1 Análisis y validación de los resultados

Los 5 proyectos estudiados, conforme la Tabla 11, contienen características diferentes como altura de la nave, cantidad de niveles, si hay planta adicional o no, tipo de cimentación y tipo de estructura.

CARACTERÍSTICAS / PROYECTOS	1PCM04	1PAM07	1PAM31	1PEMX01	2PAM03
Superficie Construida (m2)	723	560	1.250	346	2.042
Tipología	1	3	5	15	19
Altura de la nave	5-7,5	7,5-10	5-7,5	5-7,5	7,5-10
Qt de planta	1	1	1	1	2
Planta adicional				ENTREPLANTA	
Tipo cimentación	Zanjas corridas (C)	Zapatas aisladas (A)	Zapatas aisladas (A)	Zapatas aisladas (A) - Zanjas corridas (C)	Zapatas aisladas (A)
Tipo estructura	Metálica (M)	Metálica (M)	Metálica (M)	Mixta	Metálica (M)
Tipo cubierta	Inclinada (I)	Inclinada (I)	Inclinada (I)	Inclinada (I)	Inclinada (I)
Emplazamiento	Carmona	Mairena	Carmona	Mairena	Alcalá Guadaíra

TABLA 11 - CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS UTILIZADOS PARA LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En la Tabla 12 se relacionan los Qi's por capítulo de presupuesto, que cuantifican los recursos consumidos en cada proyecto. Cabe subrayar que los valores destacados en azul son referentes a medias, conforme mencionado en el apartado 4.2.2 Selección de datos específicos.

Cód.	Concepto	Ud.	1PCM04	1PAM07	1PAM31	1PEMX01	2PAM03
02EX	Excavaciones	m ³	0,0820	0,1323	0,8150	0,1700	0,1382
02RR	Rellenos	m ³		0,2397		0,3500	
02TX	Transportes	m ³	0,2049	0,3308	1,7100	0,4200	0,3592
03AX	Armaduras	kg	7,2403	2,4002		3,0500	5,8142
03CP	Pilotes	m	0,1085	0,1085	0,1085	0,1085	0,1085
03EX	Encofrados	m ²	0,2800	0,2490	0,2773	0,5200	0,5092
03HA	Hormigones Armados (cimentación)	m ³	0,3060	0,2646	0,1720	0,1200	0,3476
03HM	Hormigones en Masa	m ³			0,0560	0,2500	0,0273
04EA	Arquetas y pozos	u	0,0014	0,0321	0,0080	0,0200	0,0176
04EC	Colectores	m	0,1093	0,3108	0,2040	0,3400	0,2428
04VB	Bajantes	m	0,0499		0,0570	0,0900	0,1057
05AC	Acero laminado en caliente	kg	33,2646	30,0005	23,0630	23,3200	45,9488
05AF	Acero laminado en frío	kg			5,4470		
05FX	Forjados	m ²	0,0300	0,2526	0,0617	0,3200	0,3272
05HA	Acero Armaduras	m ²			2,0970	2,9200	
05HE	Encofrados	m ²				0,1300	
05HH	Hormigones Armados (estructura)	m ³	0,3886	0,3886	0,3667	0,0400	0,3886
05MX	Madera estructural	m ³					
06BZ	Muros Bloques	m ²	1,6393	0,1126	0,0500	0,8125	0,1292



06DX	Distrib. Tabiquería (Cám.)	m ²					
06DY	Distrib. Tabiquería (Part.)	m ²			0,0270		
06LX	Fcas. Ext. Ladrillo	m ²	0,0546	0,1001	0,4615	0,9000	0,0617
06LY	Fcas. Int. Ladrillo	m ²	0,0410	0,1226	0,0840	0,5400	0,0041
06LZ	Muros de ladrillo	m ²	1,0020	0,9877	0,9624	0,9877	0,9877
06PA	Prefabricados metálicos	m ²	0,6070	0,6070	0,3888	0,6070	1,3740
06PH	Prefabricados hormigón	m ²	2,0100	3,0430	1,6360	2,6400	2,0236
07HX	Cubiertas Horizontales	m ²	0,0905	0,0407	0,0447	0,0905	0,0905
07IX	Cubiertas Inclinadas	m ²	1,4344	1,9678	1,9600	2,2800	1,7100
08CA	Aparatos climatización y agua caliente	u	0,0021	0,0019	0,0026	0,0021	0,0021
08CC	Conductos climatización	m	0,0200	0,0600	0,0408	0,0600	0,0416
08EC	Circuitos	m	0,2182		0,6540	0,5800	
08ED	Derivaciones	m				0,0200	
08EL	Puntos de Luz	u	0,0082		0,0130	0,0500	
08ET	Tomas de Corriente	u	0,0109	0,0375	0,0240	0,1200	0,0315
08EP	Conductor Puesta Tierra	m	0,0500	0,0424	0,2940	0,1000	0,0417
08FF	Canalización Agua	m	0,0219	0,1321	0,0560	0,2000	0,0048
08FS	Aparatos Sanitarios	u	0,0100	0,0092	0,0080	0,0088	0,0058
09AX	Aislamientos Acústicos	m ²	0,0740	0,0740	0,0740	0,0740	0,0740
09TX	Aislamientos Térmicos	m ²	0,6441	1,5420	0,1609	0,6441	0,0058
10AA	Alicatados	m ²	0,1400	0,0562	0,0680	0,0962	0,0091
10AC	Chapados	m ²	0,5399	0,3750	1,9600	0,1800	0,1868
10CE	Enfoscados	m ²	0,1530	0,7873	2,1820	1,5600	1,3421
10CG	Guarnecidos	m ²				0,5800	
10SC	Solados cerámicos	m ²	0,0200	0,0930	0,1421	0,3400	0,1724
10SN	Solados piedras naturales	m ²	0,1182	0,0966	0,1182	0,1182	0,1182
10SX	Soleras ligeras	m ²	0,8623	0,8623	0,8623	0,8623	0,8623
10SY	Soleras semipesadas	m ²	1,4344	2,3966	0,0420	2,0000	0,9256
10SZ	Soleras pesadas	m ²	1,2600	0,8381	2,1600	0,9790	1,6704
10TX	Falsos Techos	m ²	0,0778	0,0961	0,0420	0,3800	0,1255
10RX	Remates y alfeizares	m	0,0768	0,2230	0,3240	0,0600	0,0768
11AX	Carpintería Acero	m ²	0,0546	0,2250	0,1520	0,3200	0,1006
11LX	Carpintería Aluminio	m ²	0,0039	0,0642	0,0220	0,2800	0,0530
11MX	Carpintería Madera	m ²	0,0287	0,0120	0,0141	0,0200	0,0061
12XX	Acristalamientos	m ²	0,0330	0,0771	0,0220	0,2800	0,0478
13EX	Pinturas Exteriores	m ²	0,5945	0,5786	0,9537	2,2400	0,1167
13IX	Pinturas Interiores	m ²	0,2840	1,1451	7,8000	1,1000	0,4521

TABLA 12 - QI'S UTILIZADOS PARA LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA. LOS VALORES EN AZUL SE HAN OBTENIDO DE MEDIAS DE LOS 87 PROYECTOS EN LA MUESTRA.

Como se puede observar en la Ilustración 12, los índices de HH están más altos que la referencia establecida de 5,7 m³/m² (OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2019) debido a las soluciones constructivas elegidas, pero aún están coherentes, pues no destaca ningún valor con una variación exagerada con respecto a la referencia. Sobre los índices de HC, los valores de los proyectos están por debajo del valor de la referencia establecido para ese indicador ambiental (OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2020), que es de 441 kgCO₂eq/m², pero no presenta variaciones excesivas.



ILUSTRACIÓN 12 - HH Y HC GENERADOS POR M² POR PROYECTO

Para verificar sensibilidad a cambios de soluciones constructivas, se optó por cambiar la solución constructiva de la fachada de bloques de hormigón por panel sándwich. Y como se puede ver en la Ilustración 13 todos los proyectos sufrieron un aumento en ambos índices ambientales y son coherentes con las referencias establecidas. De esa forma, se puede concluir que la herramienta presenta resultados coherentes y es sensible a los cambios seleccionados.



ILUSTRACIÓN 13 - HH Y HC GENERADOS POR M² POR PROYECTO DESPUÉS DEL CAMBIO DE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA



5 ESTUDIO DE LOS PROYECTOS

Se estudiarán 4 proyectos de naves industriales que son representativos de 4 opciones diferentes de cimentaciones: losas, zapatas aisladas, zanjas corridas y pilotes. Se aplicará la metodología de cálculo presentada en ese trabajo con el objetivo de analizar la variabilidad de resultados, marcadas principalmente por su cimentación, fijando el resto de las soluciones constructivas. Para facilitar la evaluación y comprensión, en los siguientes apartados se identificarán los proyectos estudiados:

- PL: representando el proyecto con cimentación de losas;
- PZ: representando el proyecto con cimentación de zapatas aisladas;
- PC: representando el proyecto con cimentación de zanjas corridas;
- PP: representando el proyecto con cimentación de pilotes.

Las características más relevantes de los proyectos estudiados se pueden ver en la Tabla 13. Sus principales diferencias, además del tipo de cimentación, son la superficie construida, el rango de altura de la nave, si presentan sótano o no y los tipos de estructuras. Estas características serán llevadas en cuenta para el análisis de los resultados finales.

CARACTERÍSTICAS / PROYECTOS	PL	PZ	PC	PP
CÓDIGO ORIGINAL	2PLM01	2PAM05	2PCM01	2PPH01
SUPERFICIE CONSTRUIDA (M2)	1.535	12.838	312	8.896
TIPOLOGÍA	21	8	9	16
ALTURA DE LA NAVE	7,5-10	>10	7,5-10	>10
CANTIDAD DE PLANTAS	2	2	2	2
PLANTA ADICIONAL	SOTANO	-	-	-
TIPO CIMENTACIÓN	Losas (L)	Zapatas aisladas (A)	Zanjas corridas (C)	Pilotes (P)
TIPO ESTRUCTURA	Metálica (M)	Metálica (M)	Hormigón (H)	Hormigón (H)

TABLA 13 - CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS UTILIZADOS EN LOS ESTUDIOS DE CASO

Para los demás parámetros se han elegido elementos constructivos constantes, siendo ellos seleccionados por ser las soluciones constructivas más comunes en la muestra realizada de 87 proyectos. Los elementos constructivos contemplados se pueden ver en la Tabla 14.

ACONDICIONAMIENTO TERRENOS	
Transportes:	TRANSPORTE TIERRAS, DIST. MÁX. 5 km CARGA M. MECÁNICOS
CIMENTACIONES	
Encofrados:	ENCOFRADO DE MADERA
SANEAMIENTO	
Colectores:	COLECTOR ENTERRADO TUBERIA POLIETILENO 200 mm
ESTRUCTURAS	
Forjados:	FORJADO VIG. SEMIRR. ARMADURAS PRETEN. BOV. CER. (HA-30)
Hormigones Armados:	HORMIGÓN PARA ARMAR HA-25/P/20/IIa EN VIGAS HORMIGÓN PARA ARMAR HA-30/P/20/IIa EN LOSAS



ALBAÑILERÍA

Albañilería Fachada

Prefabricados hormigón:

PANELES ALVEOLARES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PRETENSADO

Particiones

Ladrillo y Yeso:

TABICÓN DE LADRILLO HUECO DOBLE 9 cm

Muros:

FÁBRICA ARMADA BLOQ. HORM. LIG. MACIZO 50x20x25 cm

CUBIERTAS

Cubiertas inclinadas:

TEJAS DE CEMENTO

INSTALACIONES

Aparatos climatización:

UNIDAD VRF INVERTER

Unidades Terminales:

TERMINAL DE TECHO

Canalizaciones (tuberías):

CANALIZ. EMPOTRADA, AC. NEGRO ELECT. DIAM. 3/8", ROSCADAS

Conductor Puesta Tierra:

Aplicable

Tomas de Corriente:

TOMA CORRIENTE EMPOTRADA 10/16 A CON 1,5 mm²

Canalización Agua:

CANALIZACIÓN POLIETILENO PE-X, EMPOTRADA, DIÁM. 25x2,5 mm

Aparatos Sanitarios:

FREGADERO 1 SENO CON ESCURRIDOR ACERO INOXIDABLE
INODORO TANQUE BAJO, PORCELANA VITRIFICADA BLANCO
LAVABO PEDESTAL PORC. VITRIF. 0,60x0,50 m BLANCO

AISLAMIENTOS

Aislamientos Acústicos

Paredes:

AISLAMIENTO PAREDES, PANEL RÍGIDO FIBRA VIDRIO 40 mm

Suelos:

AISLAMIENTO SUELOS, FIELTRO FIBRA VIDRIO 4 mm

Aislamientos Térmicos

Paredes:

AISLAMIENTO PAREDES POLIURETANO PROYECTADO 30 mm

Suelos:

AISLAMIENTO SUELOS P. RÍGIDAS POLIEST. EXTENDIDO 20 mm

REVESTIMIENTOS

Acabados Fachada

Pinturas exteriores:

PINTURA PÉTREA LISA AL CEMENTO EXTERIOR

Acabados Interiores

Pinturas interiores:

PINTURA ESMALTE SINTÉTICO S/CARP. METÁLICA

Solado Principal

Solados especiales:

PAVIMENTO INDUSTRIAL DE ALTA RESIST. MECÁNICA Y QUÍMICA

Solados en pequeñas superficies

Solados cerámicos:

SOLADO GRES PORCELÁNICO 30x30 cm ADHESIVO



Falsos Techos:	TECHO PLACAS DE ESCAYOLA, SISTEMA DESMONTABLE Y ENTRAMADO VISTO
Alfeizar:	ALFÉIZAR BALD. CERÁMICAS CON GOTERÓN 14x28 cm A TIZÓN
Remate y Albardilla:	REMATE CON BALD. CERÁMICA C/GOTERÓN 14x28 cm A SOGA
CARPINTERÍA Y SEGURIDAD	
Ventanas:	ACERO-VENTANA CORREDERA INOXIDABLE TIPO III (1,50-3 m ²)
Puertas:	ACERO-PUERTA ABATIBLE GALVANIZADO TIPO III (1,50-3 m ²)
VIDRIERÍA	
Acristalamientos:	ACRIST. TERMOACÚSTICO DOS LUNAS PULIDAS INCOLORAS CON BAJA EMISIVIDAD - 4mm y 6 mm

TABLA 14 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS ELEGIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE CASOS

Los únicos parámetros que no pueden mantener constantes en todos los proyectos son las cimentaciones. Por esa razón, para cada proyecto se aplicó elemento constructivo de acuerdo con la necesidad. Ver Tabla 15.

PROYECTO	SOLUCION CONSTRUCTIVA DE CIMENTACION ELEGIDA
PL	HORMIGÓN HA-25/B/40/IIa EN LOSAS DE CIMENT.
PZ	HORM. ARM. HA-30/P/40/IIa B500S EN ZAPATAS Y ENCEPADOS V/MAN
PC	HORMIGÓN HA-30/P/20/IIa EN VIGAS/ZUNCHOS DE CIMENT.
	HORM. ARM. HA-30/P/40/IIa B500S EN ZAPATAS Y ENCEPADOS V/MAN
PP	PILOTE "IN SITU" ENT. REC/AZUCHE HA-30/F/20/IIa DIÁM. 65 cm

TABLA 15 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE CIMENTACIÓN ELEGIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE CASOS

Los Qi's utilizados para el análisis de los proyectos se recogen en la Tabla 16, donde valores destacados en rojo son obtenidos de medias de proyectos, conforme a lo mencionado en el apartado 4.2.2.

Cód.	Concepto	Unidad	PL	PZ	PC	PP
02EX	Excavaciones	m ³	2,9621	0,8927	0,3736	0,0700
02RR	Rellenos	m ³		0,4750	0,0386	0,0100
02TX	Transportes	m ³	7,4052	2,2318	0,9340	0,0638
03AX	Armaduras	kg	4,2974	6,4032	6,6761	0,1500
03CP	Pilotes	m	0,1085	0,1085	0,1085	0,2400
03EX	Encofrados	m ²	0,2854	0,2854	0,9682	0,2854
03HA	Hormigones Armados (cimentación)	m ³	0,8542	0,2956	0,2498	0,0902
03HM	Hormigones en Masa	m ³	0,0255	0,0274	0,0193	0,0100
04EA	Arquetas y pozos	u	0,0039	0,0169	0,0385	0,0100
04EC	Colectores	m	0,1898	0,5212	0,3758	0,0800
04VB	Bajantes	m			0,1155	0,0400
05AC	Acero laminado en caliente	kg	16,8300	1,4283	1,3716	
05AF	Acero laminado en frío	kg				
05FX	Forjados	m ²	1,1686	0,2191	0,4212	0,6600
05HA	Acero Armaduras	m ²				4,7800
05HE	Encofrados6	m ²				
05HH	Hormigones Armados (estructura)	m ³	0,3886	0,0620	0,0770	0,1000
05MX	Madera estructural	m ³				



06BZ	Muros Bloques	m ²	0,2178	0,8125	0,8125	0,4454
06DX	Distrib. Tabiquería (Cám.)	m ²				
06DY	Distrib. Tabiquería (Part.)	m ²	0,0414	0,0280	0,1033	
06LX	Fcas. Ext. Ladrillo	m ²	0,2178	0,2994	0,2994	0,2994
06LY	Fcas. Int. Ladrillo	m ²	0,4512	0,1129	0,1392	0,1129
06LZ	Muros de ladrillo	m ²	0,9877	0,9877	0,9877	0,9877
06PA	Prefabricados metálicos	m ²	0,6070	0,8238	0,6070	1,2000
06PH	Prefabricados hormigón	m ²	1,6124	2,7474	4,8602	1,0600
07HX	Cubiertas Horizontales	m ²	0,0905	0,0905	0,1424	0,0905
07IX	Cubiertas Inclinadas	m ²	0,9934	2,5710	1,6400	1,4600
08CA	Aparatos climatización y agua caliente	u	0,0001	0,0021	0,0021	0,0021
08CC	Conductos climatización	m	0,0416	0,0416	0,0416	0,0416
08EC	Circuitos	m			0,2792	
08ED	Derivaciones	m				
08EL	Puntos de Luz	u			0,0513	
08ET	Tomas de Corriente	u	0,0286	0,0286	0,0256	0,0286
08EP	Conductor Puesta Tierra	m	0,1021	0,1021	0,1021	0,1021
08FF	Canalización Agua	m	0,0777	0,0777	0,1604	0,0777
08FS	Aparatos Sanitarios	u	0,0104	0,0208	0,0320	0,0088
09AX	Aislamientos Acústicos	m ²	0,0740	0,0740	0,0740	0,0740
09TX	Aislamientos Térmicos	m ²	0,6441	3,6304	0,3592	0,6441
10AA	Alicatados	m ²	0,1132	0,0962	0,2280	0,0962
10AC	Chapados	m ²	0,1260	0,5399	0,3462	0,5399
10CE	Enfoscados	m ²	0,6510	1,3421	1,3421	1,3421
10CG	Guarnecidos	m ²			0,0691	
10SC	Solados cerámicos	m ²	0,3894	0,1148	0,1148	0,1148
10SN	Solados piedras naturales	m ²	0,1182	0,1182	0,4100	0,1182
10SX	Soleras ligeras	m ²	0,8623	0,8623	0,8623	0,8623
10SY	Soleras semipesadas	m ²	0,9358	2,8566	0,9358	1,3400
10SZ	Soleras pesadas	m ²	1,6268	0,9790	2,0600	0,9790
10TX	Falsos Techos	m ²	0,3042	0,0778	0,0382	0,0778
10RX	Remates y alfeizares	m	0,0768	0,0768	0,4520	0,1312
11AX	Carpintería Acero	m ²	0,0242	0,2488	0,1734	0,0036
11LX	Carpintería Aluminio	m ²	0,0424	0,0330	0,1436	0,0800
11MX	Carpintería Madera	m ²	0,0160	0,0128	0,0128	0,0128
12XX	Acrilamientos	m ²	0,0567	0,0567	0,1738	0,0400
13EX	Pinturas Exteriores	m ²	0,8193	0,8193	0,8193	0,8193
13IX	Pinturas Interiores	m ²	0,7844	2,1344	0,1382	0,0383

TABLA 16 - QI'S UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE CASOS. EN ROJO LAS MEDICIONES OBTENIDAS DE LAS MEDIAS DE PROYECTOS EN LA MUESTRA.

5.1 Proyecto Nave Industrial – Cimentación de losas (PL)

La primera nave estudiada, es el proyecto que comprende la cimentación tipo losas y de la tipología 21. Esa nave está ubicada en Alcalá de Guadaíra, tiene dos niveles y un sótano, además de tener estructura metálica. Después de aplicados elementos constructivos fijos y los seleccionados a los Qi's del proyecto, se generarán los resultados en la Tabla 17.



PRECIO DEL PROYECTO (€/m ²)	301,88
HUELLA HÍDRICA (m ³ /m ²)	12,15
HUELLA DE CARBONO TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)	657,86
HORAS MANO DE OBRA (h/m ²)	1,12
HORAS MANIP. MAQ (h/m ²)	5,06

TABLA 17 – RESUMEN DE DATOS DEL PROYECTO PL

Como se puede ver en la Ilustración 14, el proyecto PL presenta un gran impacto de HC y HH en los apartados de estructuras y cimentación, eso es debido a la gran cantidad de acero y hormigón en masa utilizado. La etapa de albañilería está en el tercero puesto de HC, también por el alto consumo de acero y hormigón suministrado en la solución de placas empleadas en la fachada. También destaca, la etapa de revestimientos que presenta un gran impacto en la HH debido al gran volumen de agua empleado en la producción del solado principal (Tabla 14).

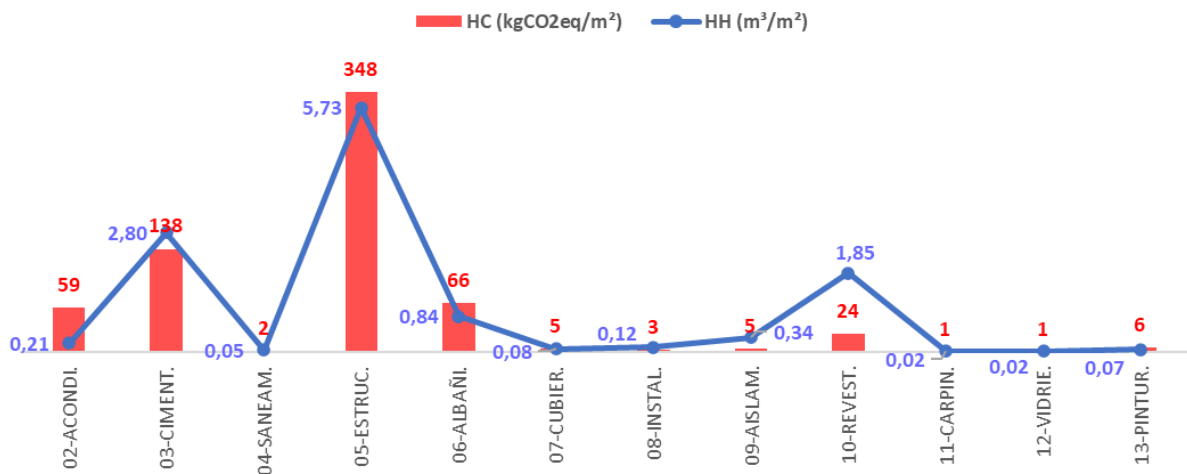


ILUSTRACIÓN 14 - HH, HC POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PL

En la Ilustración 15 se presenta los costes por m² construido del proyecto. En el caso de esa nave, se ve en el gráfico que el costo más alto por superficie está localizado en la etapa de estructuras generado por la alta cantidad de hormigón y acero empleados. También se destacan los revestimientos, debido al precio del pavimento industrial elegido, y la cimentación por causa de la gran cantidad de hormigón suministrado.

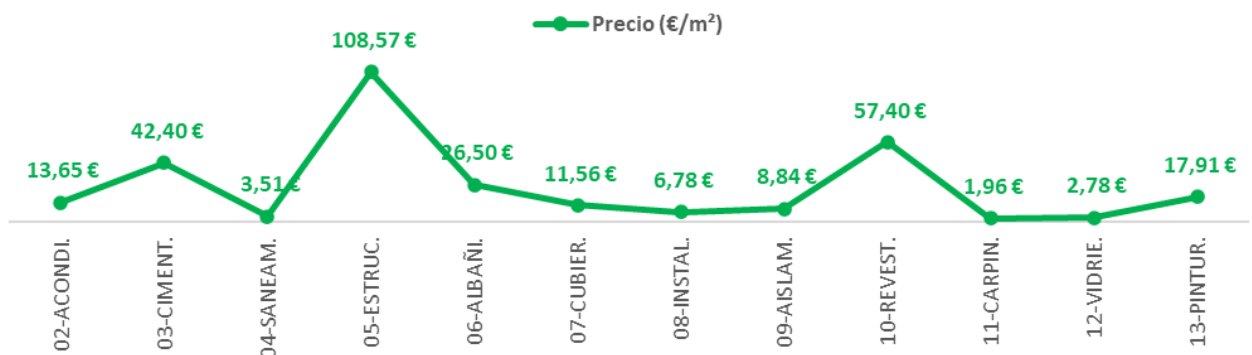


ILUSTRACIÓN 15 - COSTOS POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PL



5.2 Proyecto Nave Industrial – Cimentación de zapatas aisladas (PZ)

La segunda nave estudiada, es el proyecto con la cimentación tipo zapatas aisladas y que pertenece a la tipología 8. Esa nave también está ubicada en Alcalá de Guadaíra, tiene dos niveles, y es de estructura metálica. Después de aplicados elementos constructivos fijos y los seleccionados a los Qi's del proyecto, se generan los resultados en la Tabla 18.

PRECIO DEL PROYECTO (€/m ²)	340,83
HUELLA HÍDRICA (m ³ /m ²)	8,60
HUELLA DE CARBONO TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)	348,34
HORAS MANO DE OBRA (h/m ²)	0,56
HORAS MANIP. MAQ (h/m ²)	5,26

TABLA 18 - RESUMEN DE DATOS DEL PROYECTO PZ

Como se puede ver en la Ilustración 16, el proyecto PZ presenta un gran impacto de HC y HH en el apartado de albañilería, esto es debido a la gran cantidad de placas alveolares y bloques de hormigón utilizados. Luego destacan las etapas de cimentación y estructuras, debido al acero y hormigón en masa utilizado. Y así como el apartado anterior, los revestimientos presentan un alto impacto en la HH (Tabla 14).

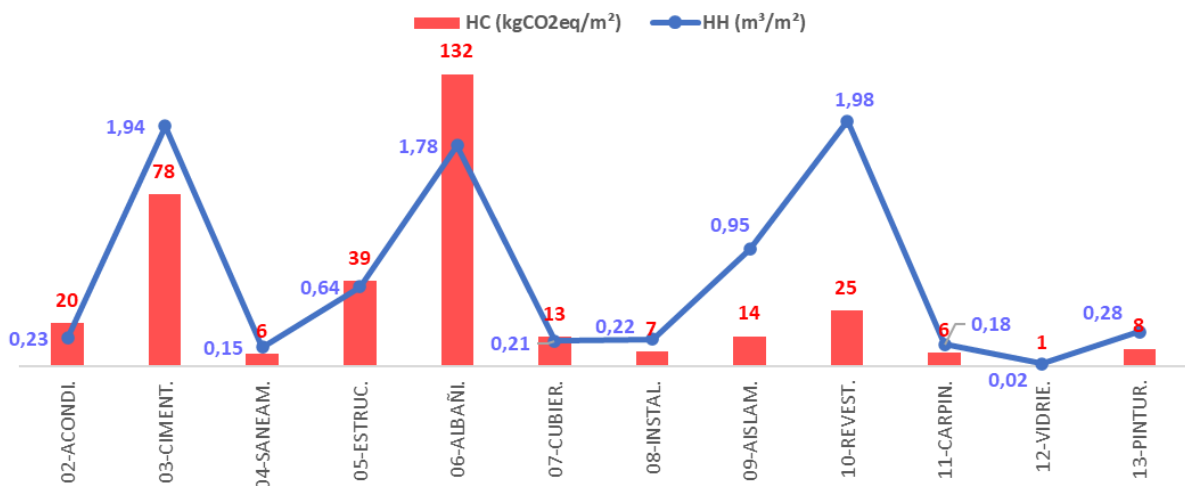


ILUSTRACIÓN 16 - HH, HC POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PZ

En la Ilustración 17 se presentan los costes por m² construido. En el caso de esta nave, así como en la anterior, y el costo más alto por superficie está localizado en el apartado de albañilería. En ese apartado destaca también las placas alveolares y los bloques de hormigón. También tiene un costo importante la etapa de revestimiento debido a la fabricación y la instalación del pavimento industrial.

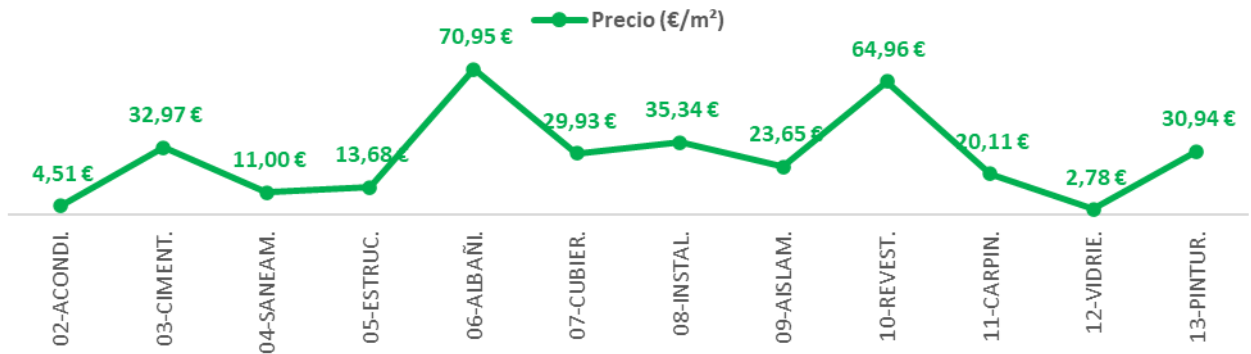


ILUSTRACIÓN 17 - COSTOS POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PZ

5.3 Proyecto Nave Industrial – Cimentación de zanjas corridas (PC)

La tercera nave estudiada, es el proyecto que comprende la cimentación tipo zanjas corridas y está integrado a la tipología 9. Está también ubicada en Alcalá de Guadaíra, tiene dos niveles, además de incluir estructura de hormigón. Después de aplicados elementos constructivos fijos y los seleccionados a los Qi's del proyecto, se generarán los resultados abajo en la Tabla 19.

PRECIO DEL PROYECTO (€/m ²)	337,19
HUELLA HÍDRICA (m ³ /m ²)	10,85
HUELLA DE CARBONO TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)	433,61
HORAS MANO DE OBRA (h/m ²)	0,40
HORAS MANIP. MAQ (h/m ²)	4,89

TABLA 19 - RESUMEN DE DATOS DEL PROYECTO PC

Como se puede ver en la Ilustración 18, el proyecto PC presenta HC y HH más altos en el apartado de albañilería, igual que en las naves anteriores, debido a las placas alveolares y bloques de hormigón utilizados. En segundo lugar, está el apartado de cimentación, el impacto ambiental es generado por la gran cantidad de acero y de hormigón en masa utilizado para hacer la cimentación. Los revestimientos tienen el tercer puesto.

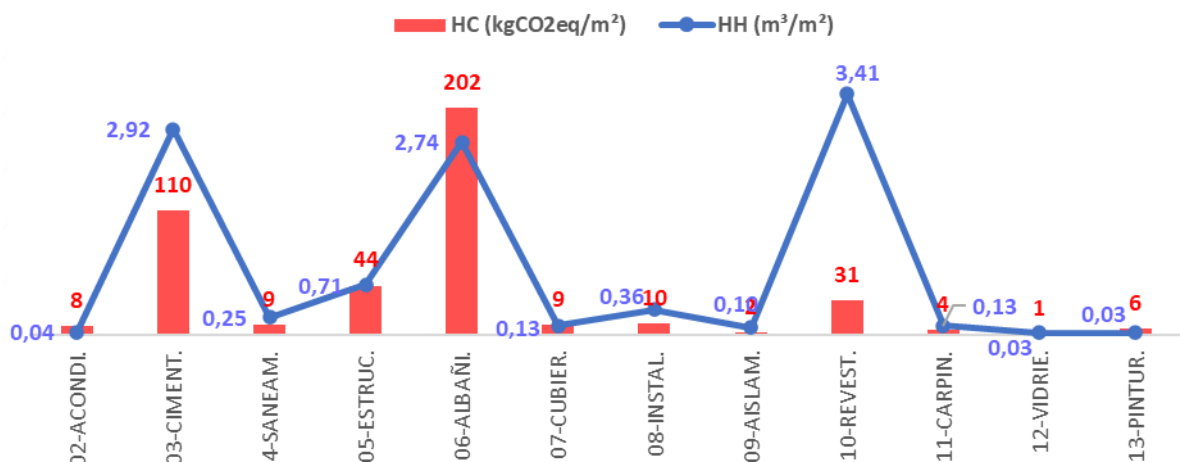


ILUSTRACIÓN 18 - HH, HC POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PC



En la Ilustración 19 se presenta los costes por m² construido del proyecto. En el gráfico el costo más alto por superficie está localizado en la albañilería. El apartado de revestimientos también destaca.

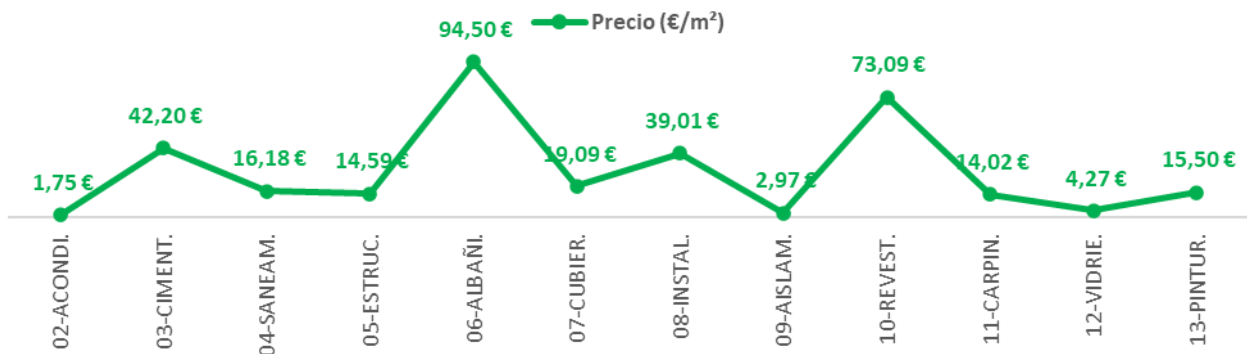


ILUSTRACIÓN 19 - COSTOS POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PC

5.4 Proyecto Nave Industrial – Cimentación de pilotes (PP)

La última nave estudiada, es el proyecto que comprende la cimentación tipo pilotes y está integrado a la tipología 16. Esa nave también está situada en Alcalá de Guadaíra, tiene dos niveles, además de incluir estructura de hormigón. Después de aplicados elementos constructivos fijos y seleccionados a los Qi's del proyecto, se generan los resultados abajo en la Tabla 20.

PRECIO DEL PROYECTO (€/m ²)	232,00
HUELLA HÍDRICA (m ³ /m ²)	6,12
HUELLA DE CARBONO TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)	199,68
HORAS MANO DE OBRA (h/m ²)	0,26
HORAS MANIP. MAQ (h/m ²)	3,87

TABLA 20 - RESUMEN DE DATOS DEL PROYECTO PP

Como se puede ver en la Ilustración 20, el proyecto PP tiene un gran impacto de HC en el apartado de estructuras, eso es causado por la gran cantidad de acero y hormigón. Ese proyecto también presenta una gran emisión de HC en el apartado de albañilería, eso se da igualmente debido a la gran cantidad de placas alveolares y bloques de hormigón utilizados. Los revestimientos tienen el puesto tercero con más altas emisiones y primer puesto de HH, la causa también es generada pela fabricación e instalación de la solería.

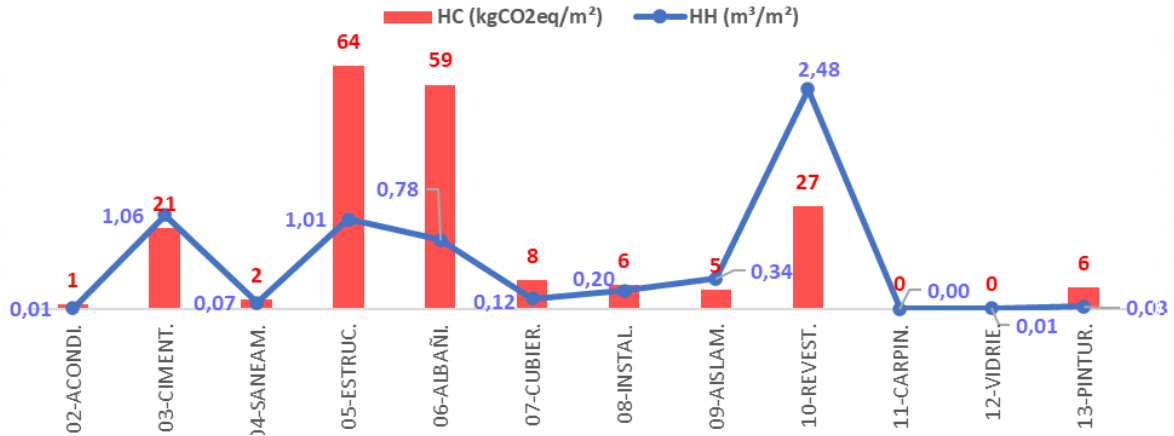


ILUSTRACIÓN 20 - HH, HC POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PP

En la Ilustración 21 se presenta los costes por m² construido del proyecto. En el caso de esa nave, el costo más alto por superficie está localizado en el apartado de revestimientos. En ese apartado destacan la fabricación e instalación del pavimento industrial.

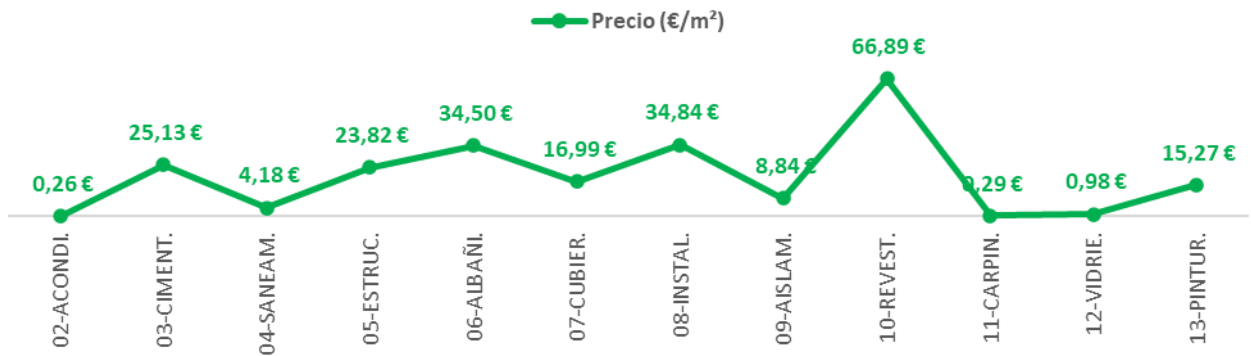


ILUSTRACIÓN 21 - COSTOS POR CAPÍTULO DEL PROYECTO Y POR SUPERFICIE – PP



6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 Análisis general de los resultados de los proyectos

Los gráficos de la Ilustración 22 presentan una visión general de los resultados del análisis de los proyectos, donde se puede observar claramente que el proyecto con cimentación de pilotes (PP) generó menor impacto tanto de HH como de HC. Y el proyecto con cimentación por losas (PL) presentó las HH y HC más altas por superficie construida.

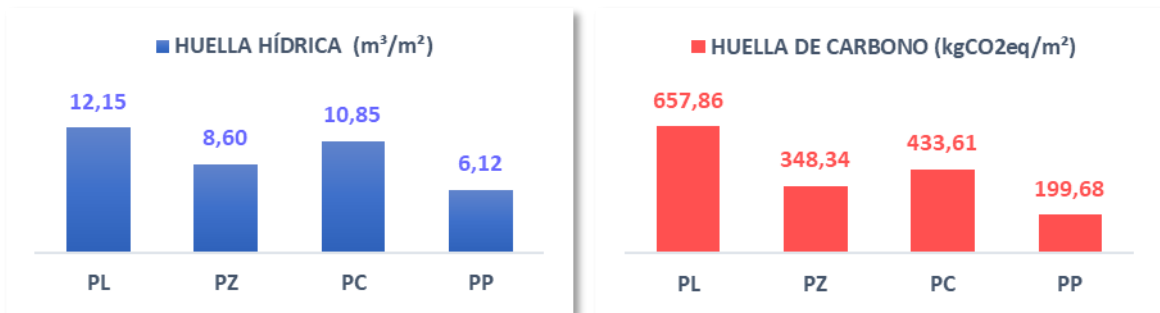


ILUSTRACIÓN 22 – VOLUMEN DE HH Y HC GENERADOS POR M² POR PROYECTO

En el gráfico de la Ilustración 23, el proyecto con cimentación por pilotes además de presentar los menores índices de impacto ambiental también presenta el menor precio por superficie construida. Y el proyecto con cimentación de zapatas aisladas tiene mayor precio por m².

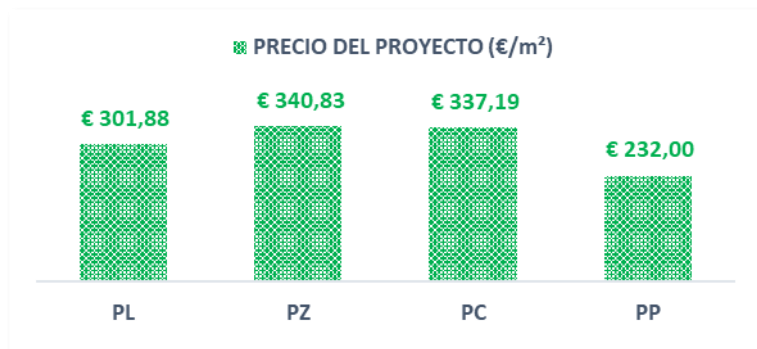


ILUSTRACIÓN 23 – PRECIO POR M² POR PROYECTO

Al analizar los proyectos de manera más detallada, desde la Ilustración 14 hasta la Ilustración 21, los valores más altos están siempre centrados en 4 capítulos: 03-CIMENTACIONES; 05-ESTRUCTURAS; 06-ALBAÑILERÍA; y 10-REVESTIMIENTOS y se verifica como se dividen las etapas de obras según la tipología de cada proyecto (Ilustración 24. En el siguiente subcapítulo 6.2 se analizan de manera más detallada estos elementos.

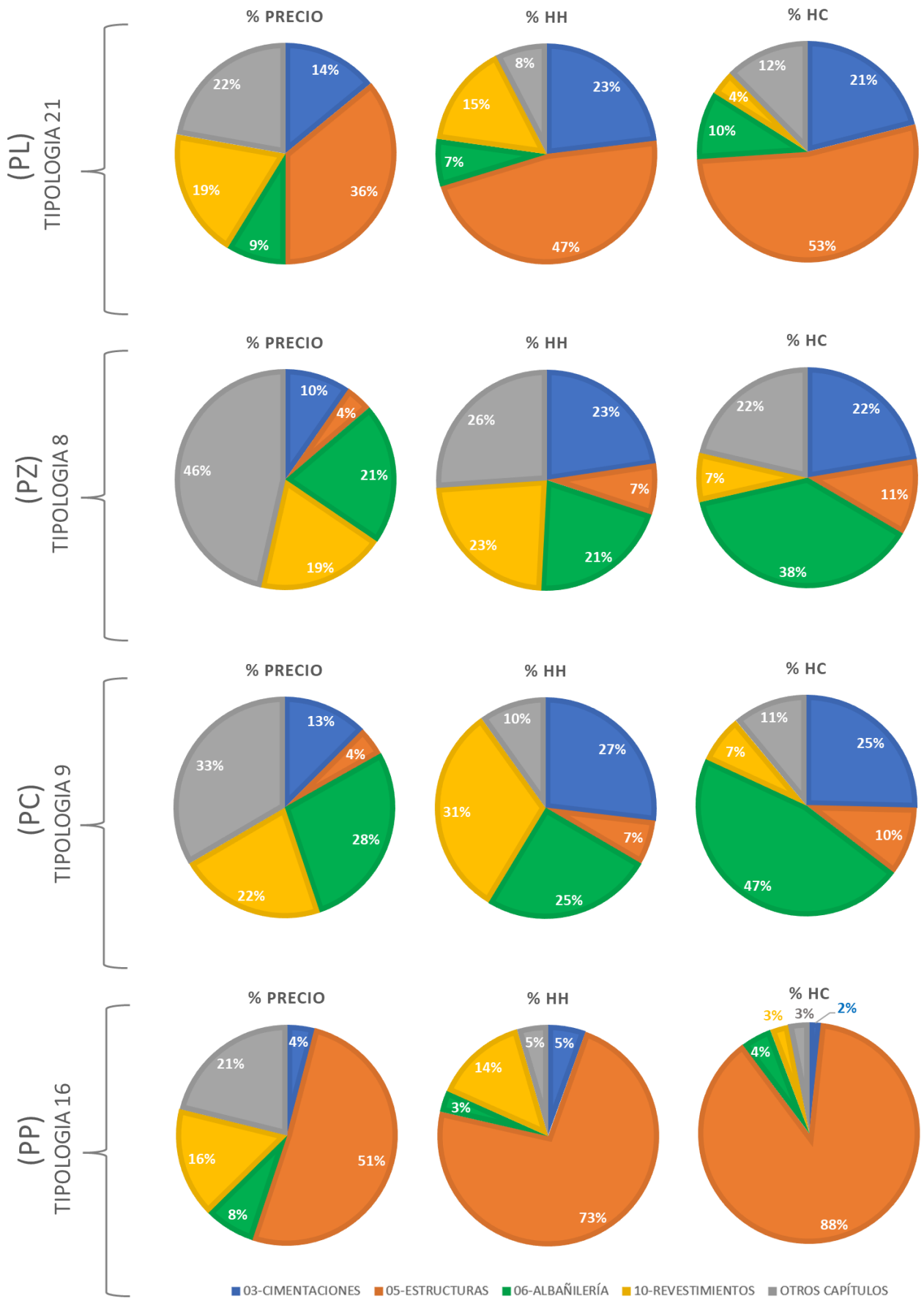


ILUSTRACIÓN 24 – GRÁFICOS DE PRECIO, HH, HC PARA CADA TIPOLOGÍA ANALIZADA CON DIVISIÓN DE LOS CAPÍTULOS SELECCIONADOS PARA ANALICE



6.2 Análisis detallado de los resultados de los proyectos

En la Tabla 21 están representados los capítulos que representan la mayor parte de los impactos financieros y ambientales de cada tipología estudiada. Con el objetivo de facilitar la identificación visual de los elementos que generan más impacto en cada tipología, fue aplicada a la tabla un gradiente de colores (ver Ilustración 25) donde los valores más próximos al color blanco son los que presentan un porcentaje más bajo y los valores que están en celdas de colores más oscuros son los que generan los impactos más altos. Entre los colores oscuros, fue elegido el color verde para representar precio, azul para HH y rojo para HC. Esa escala gradiente también fue aplicada a la Tabla 22.

Editar una descripción de regla:

Dar formato a todas las celdas según sus valores:

Estilo de formato: Escala de 2 colores

Mínima: Tipo: Valor más bajo, Valor: (Valor más bajo), Color: [dropdown]

Máxima: Tipo: Valor más alto, Valor: (Valor más alto), Color: [dropdown]

Vista previa: [Color gradient bar]

ILUSTRACIÓN 25 – ESCALA GRADIENTE DE COLORES APLICADA COEFICIENTE HC EN LA TABLA 18

Es posible observar en la Tabla 21 que solo estos 4 capítulos representan desde el 53,6% hasta 78,8% del precio total del proyecto, de 73,9% hasta 95,4% del total de la HH y de 78,7% hasta 97,0% de la HC total del proyecto.

CAPÍTULOS / TIPOLOGÍA	PRECIO				HH				HC			
	21	8	9	16	21	8	9	16	21	8	9	16
03-CIMENTACIONES	14,05%	9,67%	12,52%	4,06%	23,06%	22,60%	26,88%	5,45%	21,02%	22,29%	25,37%	1,71%
05-ESTRUCTURAS	35,97%	4,01%	4,33%	51,03%	47,21%	7,47%	6,54%	73,08%	52,94%	11,16%	10,04%	88,08%
06-ALBAÑILERÍA	8,78%	20,82%	28,03%	7,52%	6,95%	20,74%	25,23%	3,12%	9,96%	37,95%	46,49%	4,46%
10-REVESTIMIENTOS	19,01%	19,06%	21,68%	16,25%	15,23%	23,08%	31,47%	13,79%	3,69%	7,27%	7,08%	2,70%
% TOTAL	77,8%	53,6%	66,5%	78,9%	92,5%	73,9%	90,1%	95,4%	87,6%	78,7%	89,0%	97,0%

TABLA 21 – RESUMEN DE IMPACTOS ECONÓMICO, HH Y HC PARA CADA TIPOLOGÍA ANALIZADA POR CAPÍTULOS DEL PRESUPUESTO

Mirando más a fondo, el capítulo de estructuras genera más impacto financiero y ambiental en las tipologías 21 y 16, representando respectivamente de 36,0% y 51,0% del precio total de proyecto, 47,2% y 73,1% de la HH y 52,9% y 88,1% de la HC.

Diferentemente de los demás proyectos, las tipologías 8 y 9, en cuanto al coeficiente HC, los capítulos que más generan impacto son los de albañilería, representando respectivamente 37,95% y 46,49%, y cimentación representando respectivamente 22,29% y 25,37% de las emisiones totales del proyecto. Cuando analizado el coeficiente HH, además de los capítulos de cimentaciones y albañilería como en la HC, se destaca el capítulo de revestimientos que constituyó 23,08% de la HH de total en la tipología 8 y 25,23% en la HH en la tipología 9. Sobre el impacto financiero, también está centrado en los apartados de



revestimientos y albañilería, donde ambos capítulos representan juntos 39,9% del total del proyecto de tipología 8 y 49,7% del total del proyecto de la tipología 9.

Se nota que el impacto financiero y ambiental de la etapa de obra de estructuras solo es relevante para tipologías que llevan cimentación de losas y pilotes, tipologías que llevan zapatas aisladas o corridas tienden a enfocar sus impactos en capítulos de cimentación, albañilería y revestimientos.

CAPÍTULO	ELEMENTO / TIPOLOGIA	PRECIO				HH				HC			
		21	8	9	16	21	8	9	16	21	8	9	16
03- CIMENTACIONES	Armaduras	1,84%	2,43%	2,56%	0,02%	1,04%	2,20%	1,81%	0,01%	1,04%	2,92%	2,45%	0,01%
	Pilotes				2,40%				0,90%				0,99%
	Encofrados	1,48%	1,31%	2,25%	1,09%	5,71%	8,08%	10,85%	3,85%	-0,17%	-0,33%	-0,45%	-0,11%
	Hormigones Armados	10,15%	5,39%	7,32%		15,53%	11,14%	13,56%		19,19%	17,75%	22,27%	
	Hormigones en Masa	0,57%	0,54%	0,39%	0,55%	0,78%	1,18%	0,66%	0,69%	0,96%	1,95%	1,10%	0,83%
05- ESTRUCTURAS	Acero laminado en caliente	9,11%	0,68%	0,66%		8,29%	1,00%	0,76%		5,40%	0,87%	0,67%	
	Forjados	5,48%	1,82%	1,77%	1,13%	5,00%	2,65%	2,02%	0,95%	5,63%	3,98%	3,08%	1,05%
	Acero Armaduras				0,75%				0,39%				0,38%
	Hormigones Armados	21,38%	1,51%	1,90%	49,15%	33,92%	3,83%	3,76%	71,74%	41,91%	6,32%	6,30%	86,65%
06-ALBAÑILERÍA	Muros de Bloques	1,72%	11,38%	11,50%	5,16%	0,57%	5,99%	4,74%	1,57%	0,77%	10,86%	8,72%	2,08%
	Distrib. Tabiquería (Part.)	0,15%	0,09%	0,33%	0,56%	0,03%	0,03%	0,08%	0,11%	0,09%	0,11%	0,32%	0,30%
	Fcas. Int. Ladrillo	1,01%	0,45%	0,28%	0,37%	0,34%	0,24%	0,12%	0,12%	1,02%	0,97%	0,48%	0,34%
	Prefabricados hormigón	5,90%	8,90%	15,92%	1,42%	6,01%	14,48%	20,28%	1,33%	8,08%	26,01%	36,96%	1,75%
10- REVESTIMIENTOS	Guarnecidos			0,17%				0,04%				0,05%	
	Solados	17,42%	17,95%	19,05%	14,86%	9,31%	14,79%	12,28%	7,06%	3,22%	6,49%	5,46%	2,27%
	Falsos Techos	0,69%	0,31%	0,08%	0,26%	0,12%	0,08%	0,02%	0,04%	0,13%	0,13%	0,03%	0,04%
	Remates y alfeizares	0,90%	0,80%	2,38%	1,13%	5,80%	8,21%	19,13%	6,69%	0,35%	0,65%	1,54%	0,39%
% TOTAL		77,8%	53,6%	66,5%	78,9%	92,5%	73,9%	90,1%	95,4%	87,6%	78,7%	89,0%	97,0%

TABLA 22 - RESUMEN DETALLADO DE PRECIO, HH, HC PARA CADA TIPOLOGÍA ANALIZADA CON DIVISIÓN DE LOS CAPÍTULOS SELECCIONADOS PARA ANALICE

En la Tabla 22 se presenta de manera más detallada los elementos que generan más impacto en cada etapa de la obra y en cada tipología. Las conclusiones que se puede tomar al comparar los datos de esa tabla de tipologías con los gráficos del apartado anterior (Ilustración 22 e Ilustración 23) son los siguientes:

- El proyecto con **cimentación de pilotes** (tipología 16) presenta los menores índices de impacto ambiental y financiero debido a su tipo de cimentación que lleva menos armaduras y hormigón, siendo su mayor característica diferencial con relación a los otros proyectos evaluados. Estructuras claramente es el capítulo que más genera impacto financiero y ambiental en esa tipología de proyecto;
- Los proyectos de cimentación de **zapatas aisladas** (tipología 8) y **zanjas corridas** (tipología 9) presentan propiedades similares debido ser cimentaciones que vienen de la misma familia. Ambos proyectos presentan los precios por superficie construida más altos, cuando comparado a los demás proyectos, este impacto es generado por los elementos prefabricados de hormigón, muros de bloques y solados. Cuanto a HH,



el mayor impacto viene de los remates y alfeizares, solados y prefabricados de hormigón. Y por fin, la parte más representativa de la HC total de proyecto está centrada en elementos que llevan hormigón y acero, sobre todo en la cimentación con hormigones armados y en la albañilería con los prefabricados de hormigón;

- El proyecto de **cimentación tipo losas** (tipología 21) presenta los más altos porcentajes de hormigones armados en la cimentación y estructuras, también altos índices en los elementos de acero laminado en caliente y forjados por tener un sótano. Estos elementos son los responsables por generar el impacto ambiental, en términos de HH y HC, más altos entre los 4 proyectos estudiados. A pesar de estas consideraciones, ese proyecto tiene el segundo menor precio por m² (Ilustración 23), la causa es el bajo costo que fue por tener pocos muros de bloques.

Los elementos compuestos por hormigón y/o acero (hormigones armados, acero en caliente, forjados, muros de bloques y prefabricados de hormigón) son los mayores responsables por el alto impacto generado en estos capítulos. Cabe resaltar también los remates y alfeizares de origen cerámico también generan un gran impacto de HH en todas las tipologías evaluadas.

Cuando analizado solo los coeficientes ambientales y que impacto cada elemento constructivo genera en ello, podemos detectar algunos patrones. Elementos que llevan hormigón y acero suelen impactar más la HC que la HH. Por otro lado, el impacto de generado por materiales cerámicos o que llevan plásticos se destacan en la HH.

6.3 Propuesta y discusión

No todos los materiales de construcción de una obra pueden ser fácilmente substituidos, pero es posible que algunos cambios en las soluciones constructivas en el momento de la toma de decisiones puedan mejorar mucho la eficiencia de la edificación en términos ambientales. Por ejemplo, minimizar la cantidad de materiales de construcción de origen cerámico o reducir el consumo de hormigón, por ejemplo, cambiamos 2 elementos constructivos elegidos inicialmente (Tabla 14), como el tipo de particiones y la albañilería fachada por las nuevas soluciones constructivas en la Tabla 23. En ese caso, será cambiado la solución constructiva de la fachada por tabicón de ladrillo que es una solución en la cual el elemento principal (ladrillo) es de origen cerámica que presenta menor impacto ambiental cuando comparado a elementos compuestos por hormigón y acero (como placas alveolares que es la solución constructiva inicial elegida). También será cambiado la solución constructiva de las particiones que antes eran formadas por ladrillo cerámico de 9 cm y la nueva solución es ladrillo cerámico de 4 cm.

El objetivo es comprobar que para reducir el impacto ambiental es posible cambiar soluciones constructivas por elementos que sean compuestos por el mismo tipo de material que el inicial (como, por ejemplo: material de origen cerámica por material de origen cerámica) o materiales diferentes y obtener resultados significativos.



Cambiando las soluciones constructivas propuestas se puede ahorrar 0,816 m³/m² de HH, y 52,31 kgCO₂eq/m² de HC, además de economizar €11,45 por m² de superficie construida.

CATEGORIA	NUEVAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS SELECCIONADAS	VALORES DE LA DIFERENCIA EN RELACION A OPCION ELEGIDA INICIALMENTE		
		HH (m ³ /m ²)	HC (kgCO ₂ eq/m ²)	Precio (€/m ²)
Particiones	TABIQUE DE LADRILLO H/S C/MORTERO	-0,096	-16,24	- 2,91
Albañilería Fachada	TABICÓN DE LADRILLO HUECO DOBLE 9 cm	-0,72	-36,07	- 8,55

TABLA 23 - NUEVAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS SELECCIONADAS

Es posible optimizar aún más el proyecto con cambios de detalles constructivos como aislamiento, solado, puertas y etc. Si cambiados los elementos seleccionados inicialmente (Tabla 14) por las nuevas soluciones constructivas de la Tabla 24 sería posible de ahorrar 2,5 m³/m² de HH, 95,5 kgCO₂eq/m² de HC y en los costes -36,77 €/m².

CATEGORIA	NUEVAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS SELECCIONADAS	VALORES DE LA DIFERENCIA EN RELACION A OPCION ELEGIDA INICIALMENTE		
		HH (m ³ /m ²)	HC (kgCO ₂ eq/m ²)	Precio (€/m ²)
Aislamientos Térmicos - Paredes	AISLAMIENTO PAREDES PANEL SEMIRRÍG. FIBRA VIDR. 60 mm + P. KRAFF	-0,354	-3,047	2,08
Solados en pequeñas sup.	PAVIMENTO CONTINUO CON MORTERO 7 mm ESP. S/HORMIGÓN	-0,709	-19,43	1,01
Solados principales	PAVIMENTO CONTINUO CON MORTERO 7 mm ESP. S/HORMIGÓN	-1,165	-15,92	- 41,64
Puertas	PUERTA PASO PINTAR 1 H. CIEGA ABAT. CERCO 70x40 mm	0	-23,76	40,03
Ventanas	VENTANA ABATIBLE MAD. PINO FLANDES 1ª TIPO III (1,50-3 m2)	-0,187	-26,94	- 26,10
Acabados Fachada	PINT ANTICORROSIVA ANTIOX CON INCLUSION PARTÍCULAS METALICAS	0	-6,092	-11,48
Acabados Interiores	PINT ANTICORROSIVA ANTIOX CON INCLUSION PARTÍCULAS METALICAS	-0,094	-0,304	- 0,67

TABLA 24 - NUEVAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS ADICIONALES SELECCIONADAS

Para evaluar una posibilidad de mejora del impacto ambiental de los 4 proyectos estudiados, se optó por sustituir 9 soluciones constructivas inicialmente elegidas por las mencionadas en la Tabla 23 y Tabla 24, ver la Tabla 25.

HUELLA HÍDRICA TOTAL QUE SE PUEDE ECONOMIZAR (m ³ /m ²)	3,33
HUELLA DE CARBONO TOTAL QUE SE PUEDE ECONOMIZAR (kgCO ₂ eq/m ²)	147,84
VARIACIÓN TOTAL DE VALOR PARA LOS CAMBIOS (€/m ²)	-48,23

TABLA 25 – RESUMEN DE HH, HC Y PRECIO DE LAS TABLAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En el gráfico de la Ilustración 26 es posible observar el impacto generado en cada proyecto después de cambiar las soluciones constructivas. La diferencia del impacto ambiental es mucho mayor que el impacto financiero en los proyectos, sobre todo en el proyecto de cimentación tipo pilotes (PP). De esa forma, es posible que al cambiar soluciones constructivas el proyecto de lugar a una nueva definición de los rangos de los impactos ambientales mencionados en el apartado 4.2.3 Presupuestos económicos y ambientales.

El proyecto que presenta los menores sensibilidad a reducción de impactos ambientales y financieros con cambios de soluciones constructivas es lo que lleva tipología 21,



con cimentación por losas (PL). La causa son las estructuras que genera un impacto excesivo en el proyecto y cuando se hace cambios de soluciones constructivas, la reducción de los impactos ambientales y financieros no representan una parte tan grande en los resultados ambientales y financieros finales, como en los proyectos con cimentaciones diferentes. Una hipótesis que se puede usar para justificar que los valores de estructuras sean tan altos es por el sótano. Como se trata de una tipología con un único proyecto no hay otros proyectos para comparar e identificar la real causa.

El proyecto que más genero reducción de precio, HH y HC fue el proyecto de cimentación por pilotes (PP). Pilotes es el tipo de cimentación más económica entre los 4 proyectos analizados, por otro lado, ese proyecto lleva el capítulo de estructuras con el porcentaje más altos en los ámbitos financieros y ambientales (Costes= 51,0%; HH=73,1%; y HC=88,1%) cuando comparado a los otros 3 proyectos todos los proyectos (Tabla 21). Es interesante destacar que no son porcentajes de estructuras que son altos, y sí que el impacto ambiental de los otros capítulos (cimentación, revestimiento, albañilería, etc.) de obra son más bajos, y con diferencia, con relación a los otros proyectos, eso se proporciona debido las características de la tipología de la nave.

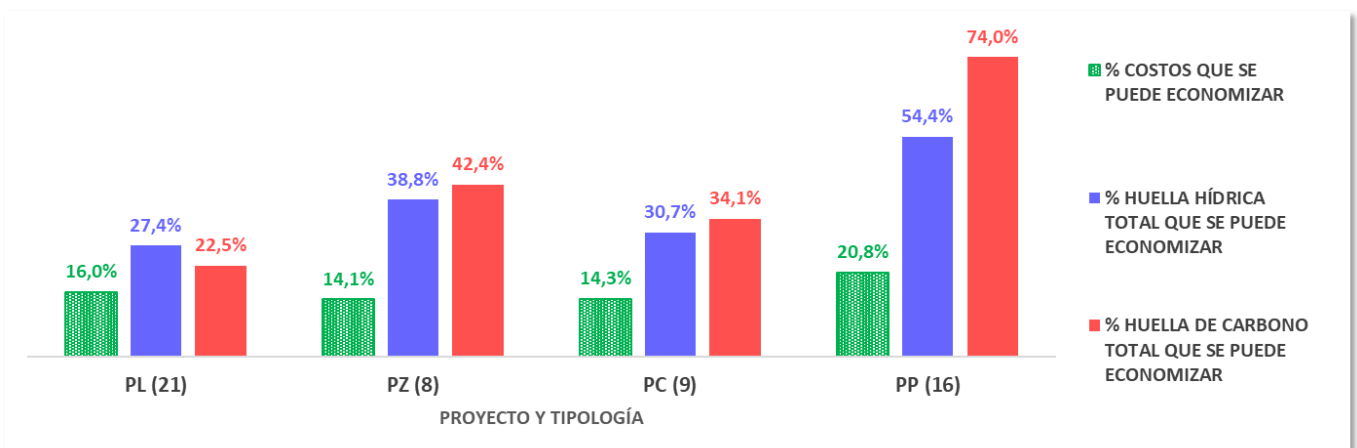


ILUSTRACIÓN 26 -IMPACTO GENERADO EN CADA PROYECTO DESPUÉS DEL CAMBIO LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS



7 CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado que es posible definir una clasificación sistemática y banco de costes de la construcción de naves industriales basados en el sistema de clasificación sistemática y Banco de Costes de la Construcción de Andalucía. Con el banco de costes creado se han podido añadir indicadores ambientales tales como la huella de carbono e hídrica a la evaluación económica, de forma similar a como ya viene realizando el grupo de investigación ARDITEC. Para ello ha sido necesario en el presente trabajo definir 16 Precios unitarios de naves industriales basados en la codificación del BCCA que se alimentan de los precios básicos ya existentes.

Para dotar de validez y sensibilidad la nueva base de datos se han empleado las mediciones de 87 naves industriales edificadas en la provincia de Sevilla. Los datos fueron recogidos en trabajos de capo previos en el grupo de investigación. La recolección se hizo a través de encuestas simplificadas de las mediciones.

La combinación de los datos de los proyectos y el nuevo banco de costes ha hecho necesario crear en el presente trabajo una herramienta que automatiza la información recogida y sus combinaciones para poder identificar patrones en soluciones constructivas con mayor impacto en términos económicos y ambientales.

En la muestra evaluada son cuatro capítulos de proyecto los que controlan los impactos: 03-CIMENTACIONES; 05-ESTRUCTURAS; 06-ALBAÑILERÍA; y 10-REVESTIMIENTOS. Cambios en las soluciones constructivas de éstos, pueden llegar a representar ahorros de hasta del 74,0% de la huella de carbono o 54,4% de la huella hídrica en los casos estudiados.



8 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las futuras líneas que se abren se resumen en:

- Analizar el ciclo de vida de las naves industriales, su potencial reciclado, reutilización o rehabilitación, con indicadores de economía circular.
- Evaluar la eficiencia energética y las huellas en la etapa de uso del ciclo de vida.
- Evaluar el impacto del cambio climático que puede tener en las futuras huellas del uso y mantenimiento de las naves.
- Emplear herramientas de inteligencia artificial con una mayor muestra y combinaciones para optimizar el diseño y construcción de naves industriales.



9 REFERENCIAS

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. & Marrero, M., 2016. LCA databases focused on construction materials: A review.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 58, pp. 565-573.

Abanda, F. H., Kamsu-Foguem, B. & Tah, J. H., 2017. BIM – New rules of measurement ontology for construction cost estimation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(2), pp. 443-459.

Architecture 2030, 2014. *Roadmap to zero emissions*. [En línea] Available at: <https://architecture2030.org/wp-content/uploads/2018/12/Roadmap-to-Zero-Emissions.pdf>

Asociación Ecómetro, 2017. *Ecometro LCA tool*. [En línea] Available at: <https://acv.ecometro.es/> [Último acceso: 28 02 2022].

Bare, J. C., Hofstetter, P., Pennington, D. W. & Udo de Haes , H. A., 2000. Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(319).

Barón Cano, J. L. y otros, 2017. *Memoria de la clasificación sistemática de precios básicos, auxiliares y unitarios*. s.l.:s.n.

BEDEC Construction cost bases, s.f. *Institute of construction technology of catalonia ITeC*. s.l.:s.n.

Bionova Ltd, 2018. *La Revisión del Carbono Incorporado: Reducción del Carbono Incorporado de más de 100 Regulaciones y Sistemas de Calificación*. s.l.:s.n.

Bonamente, E. & Cotana, F., 2015. Carbon and Energy Footprints of Prefabricated Industrial Buildings: A Systematic Life Cycle Assessment Analysis. *Energies*.

Bovea, M. D. & Powell, J. C., 2016. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management*, Volumen 50, pp. 151-172.

BREEAM ES, 2017. *BREEAM ES*. [En línea] Available at: <https://breeam.es/> [Último acceso: 28 02 2022].

BREEAM, s.f. *BREEAM International New Construction, Technical Manual*. SD233, Issue 1. 0. ed. s.l.:s.n.

C12. Política Industrial España 2030, 2021. *Plan de Recuperación, Transformación y resiliencia*. s.l.:s.n.

Camacho, C., Marrero, M. & Martín del Rio, J. J., 2017. *Cálculo de Huella Ecológica en el ciclo de vida para la fase de urbanización de un conjunto habitacional en Chile, bajo el modelo ARDITEC*. s.l.:Universidad de Sevilla.



Chang, Y., Huang, Z., J.Ries, R. & Masanetc, E., 2016. The embodied air pollutant emissions and water footprints of buildings in China: a quantification using disaggregated input-output life cycle inventory model. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 113, pp. 274-284.

Chastas, P., Theodosiou, T., Kontoleon, K. J. & Bikas, D., 2018. Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO2 emissions of residential buildings. *Building and Environment*. , Issue Vol:130, pp. 212-226.

CTE, 2006. *Documento Básico de Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación. Acciones en la Edificación DB-SE AE*. s.l.:s.n.

CYPE Ingenieros, S.A., s.f. *Generador de precios de la construcción. España..* [En línea] Available at: <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0> [Último acceso: 28 06 2022].

Dossche, C., Boel, V. & De Corte, W., 2017. Use of life cycle assessments in the construction sector: critical review. Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials, SCESCM 2016.. *Procedia Engineering 171 (2017)*, Issue 302-311.

E2CO2cero, s.f. *Software to calculate the Carbon Footprint of buildings*. s.l.:s.n.

Ecómetro, s.f. *A. Ecómetro | Association for the measurement and diffusion of ecology in architecture..* s.l.:s.n.

Empresa actual, 2021. *Empresas creadas en España hasta julio de 2021*. [En línea] Available at: <https://www.empresaactual.com/empresas-creadas-en-espana-hasta-julio-2021/> [Último acceso: 30 01 2022].

Freire-Guerrero, A. & Marrero, M., 2015. Ecological Footprint in Indirect Costs of Construction. *Proceedings of the II International congress on sustainable construction and eco-efficient solutions : Seville 25-27 may 2015*, pp. 958 - 968.

Frischknecht, R. y otros, 2005. The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework (7 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Issue 10, pp. 3-9.

Geng, R., Mansouri, S. A. & Aktasb, E., 2017. The relationship between green supply chain management and performance: A meta-analysis of empirical evidences in Asian emerging economies. *International Journal of Production Economics. Volume 183, Part A,* pp. 245-258.

Gholamreza , H., Medya, F. & Shiva, F., 2015. Evaluation of sustainability indicators of industrial buildings focused on petrochemical 441 projects. *Journal of Cleaner Production*, pp. 109, 92–107.

González-Vallejo, P. y otros, 2013. Ecological Footprint Assessment of Building in the Residential Sector in Spain.. *5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management, Lisbon..*



Hoekstra, A. & Hung, P., 2002. Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of water research report*, Volumen 11, p. 166.

IETcc, 2011. *Catálogo informático de elementos constructivos (CEC)*. [En línea] Available at: <https://www.codigotecnico.org/Programas/CatalogoElementosConstructivos.html> [Último acceso: 2022].

ISO 14040, 2006. I.O. for ISO 14040: Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework.

ISO, 2015. Norma ISO-14046. [En línea] Available at: <https://iso.cat/es/iso-14046-huella-hidrica/> [Último acceso: 28 02 2022].

Ius Natura, 2021. *Você sabe qual a importância de um projeto de obras na construção civil?*. [En línea] Available at: <https://iusnatura.com.br/projeto-obras-construcao-civil/> [Último acceso: 06 02 2022].

Kovacic, I., Waltenbereger, L. & Goullis, G., 2016. Tool for life cycle analysis of facade-systems for industrial buildings. *Journal of Cleaner Production*, pp. 30, 260–272.

Lützkendorf, T., 2019. Sustainability in Building Construction – A Multilevel Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volumen 290 .

Marrero, M. & Ramirez-De-Arellano, A., 2010. The Building Cost System in Andalusia: Application to Construction and Demolition Waste Management. *Construction Management and Economics* 28(5), p. 495–507.

Marrero, M. y otros, 2022. Life cycle assessment of industrial building construction and 2 recovery potential. Case studies in Seville. *MDPI*, pp. 1-2.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. & Marrero, M., 2016. LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 58, pp. 565-573.

Meng, J. y otros, 2014. Virtual water accounting for building: case study for E-town, Beijing. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 68, pp. 7-15.

Muñoz, C. M., Zaror, C., Saelzer, G. & Cuchí, A., 2012. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción. Caso de estudio: vivienda tipología social. Región del Biobío, Chile.. *Revista de la Construcción*, Issue 11 (3), pp. 125-145.

OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2019. *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE UNA PROMOCIÓN RESIDENCIAL*. [En línea] Available at: https://eventos.uam.es/files/event/33229/editorFiles/file/Informe_UAM-



ViaCelere WEB.pdf

[Último acceso: 23 06 2022].

OBSERVATORIO UAM - VÍA CÉLERE, 2020. *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA PROMOCIÓN RESIDENCIAL.* [En línea] Available at: <https://www.viacelere.com/sites/default/files/2020-03/Informe%20Huella%20Carbono.pdf>

[Último acceso: 23 06 2022].

OERCO2, 2017. 1.3.2. *REPORT ON METHODOLOGIES FOR CALCULATION OF CO2 EMISSIONS IN CONSTRUCTION PROCESSES IN SPAIN.* [En línea] Available at: https://oerco2.eu/wp-content/uploads/2017/10/Report%201.3.2.%20Calculation%20methodologies%20of%20CO2%20in%20Spain_EN.PDF

[Último acceso: 28 02 2022].

ONU Medio Ambiente, IEA, 2018. *Alianza Global para Edificios y Construcción Informe de estado global 2018.* s.l.:s.n.

Opher, T. y otros, 2021. Life cycle GHG assessment of a building restoration: Case study of a heritage industrial building in Toronto, Canada. *Elsevier Ltd.*

Orden, P. C. I. 86/2019, de 31 de enero (BOE), 2019. *Boletín Of. del Estado (BOE).* [En línea]

Available at: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-1394

[Último acceso: 20 02 2022].

PALOMINO, M., 2017. Importancia del sector industrial en el desarrollo economico: Una revision al estado del arte.. *Universidad Santiago de Cali. Rev. Est. de Políticas Públicas*, pp. 1-18,139-156.

Pérez Leal , M., 2012. *Huella de carbono. Herramienta de gestión ambiental, empresarial y social.* Trabajo Fin de Máster, Universidad de Sevilla ed. s.l.:s.n.

PRé Sustainability, 2016. *PRé Sustainability SimaPro 8.* [En línea] Available at: <https://simapro.com/>

[Último acceso: 11 06 2022].

Real Decreto 1098/2001 , 2001. *Reglamento de la Ley de Contratos del Sector Público.* s.l.:s.n.

Reglamento (UE) 2018/841, 2018. *Reglamento (UE) 2018/841 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. Por el que se modifican el Reglamento (UE) nº 525/2013 y la Decisión nº 529/2013/UE.* s.l.:s.n.

Rivero Camacho, C., 2020. *Estudio de huellas en el ciclo de vida del edificio residencial.* s.l.:Universidad de Sevilla.

Rivero Camacho, C. & Marrero Meléndez, M., 2021. Water Footprint of the Life Cycle of Buildings: Case Study in Andalusia, Spain. *Advances of Footprint Family for Sustainable*



Energy and Industrial Systems. Switzerland. Springer International Publishing Switzerland, Issue 1-36.

Rivero Camacho, C., Muñoz Sanguinetti, C. & Marrero Meléndez, M., 2018. Cálculo de la Huella Ecológica en el ciclo de vida para la fase de urbanización de un conjunto habitacional en Chile, bajo el modelo ARDITEC. *Intersecciones 2017. II Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio. Chile.*, Volumen 2018, pp. 82-99.

Ruiz Pérez, M. R., Alba Rodríguez, M. D. & Marrero Meléndez, M., 2020. The water footprint of city naturalisation. Evaluation of the water balance of city gardens. *Ecological Modelling*, Volumen 424.

San-José Lombera, J.-T. & Garrucho Aprea, I., 2010. *A system approach to the environmental analysis of industrial buildings.* s.l.:s.n.

SOFIA, s.f. *Situated learning Opportunities Fostered by Ict applications in alternative Agro-food networks (SOFIA).* s.l.:s.n.

Solís Guzmán, J., Rivero Camacho, C., Alba Rodríguez, M. D. & Martínez Rocamora, A., 2018. Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project. *Sustainability*, 10(1359).

SPAIN GBC, 2013. *LEED v4.* [En línea] Available at: <http://www.spaingbc.org/web/leed-4.php> [Último acceso: 28 02 2022].

SPAIN GREEN BUILDING COUNCIL, 2016. *LEED EN ESPAÑA 2015. Continuamos con el crecimiento exponencial superando las barreras de los 300 edificios.* [En línea] Available at: <http://www.spaingbc.org/web/detalle-noticia.php?id=91> [Último acceso: 20 02 2022].

STATISTA, 2021. *Porcentaje de participación en el producto interior bruto (PIB) de los sectores económicos de España de 2008 a 2020..* [En línea] Available at: <https://es.statista.com/estadisticas/501643/distribucion-del-producto-interior-bruto-pib-de-espana-por-sectores-economicos/> [Último acceso: 30 01 2022].

SUÁREZ TAMAYO, S. & MOLINA ESQUIVEL, E., 2014. El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente.. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, pp. 1-7, 30.

Water Footprint Network, 2011. *Manual para la evaluación de la Huella Hídrica.* [En línea] Available at: <https://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf> [Último acceso: 28 02 2022].

Weidema, B. P. y otros, 2008. Carbon Footprint. *LCA IN EUROPE.*



10 ANEXO

ENCUESTA					
PROYECTO: COSTRUCCION DE NAVE INDUSTRIAL					
Emplazamiento: ALCALA GUADAIRA			Fecha de Comienzo:		
Superficie Construida: 734,64m ²			Plazo:		
Código Tipológico: 2A-Y02AMI47			Periodo: P		
CANTIDADES (Unidades de Obra)					
Cód.	Concepto	Cantidad	Cód.	Concepto	Cantidad
02EX	m3. Excavaciones	45,49			
02RR	m3. Rellenos		08CA	u. Aparatos climatización y agua caliente	
02TX	m3. Transportes	45,49	08CC	m. Conductos climatización	
02	ACONDICIONAMIENTO TERRENOS		08EC	m. Circuitos	360,00
			08ED	m. Derivaciones	
03AX	kg. Armaduras	920,00	08EL	u. Puntos de Luz	16,00
03CP	m. Pilotes		08ET	u. Tomas de Corriente	
03EX	m2. Encofrados		08EP	m. Conductor Puesta Tierra	
03HA	m3. Hormigones Armados	45,49	08FF	m. Canalización Agua	
03HM	m3. Hormigones en Masa	68,70	08FS	u. Aparatos Sanitarios	
03	CIMENTACIONES		08	INSTALACIONES	
04EA	u. Arquetas y pozos	7,00	09AX	m2. Aislamientos Acústicos	
04EC	m. Colectores	47,00	09TX	m2. Aislamientos Térmicos	
04VB	m. Bajantes	32,00	09	AISLAMIENTOS	
04	SANEAMIENTO				
			10AA	m2. Alicatados	
			10AC	m2. Chapados	
05AC	kg. Acero laminado en caliente	39.500,00	10CE	m2. Enfoscados	
05AF	kg. Acero laminado en frío		10CG	m2. Guarnecidos	
05FX	m2. Forjados	120,00	10SC	m2. Solados cerámicos	80,00
05HA	kg. Acero Armaduras		10SN	m2. Solados piedras naturales	
05HE	m2. Encofrados		10SX	m2. Soleras ligeras	
05HH	m3. Hormigones Armados		10SY	m2. Soleras semipesadas	
05MX	m3. Madera estructural		10SZ	m2. Soleras pesadas	50,31
05	ESTRUCTURAS		10TX	m2. Falsos Techos	80,00
			10RX	m. Remates y alfeizares	
06BZ	m2. Muros Bloques		10	REVESTIMIENTOS	
06DX	m2. Distrib. Tabicoria.(Cám.)				
06DY	m2. Distrib. Tabicoria.(Part.)				
06LX	m2. Ecas. Ext. Ladrillo		11AX	m2. Carpintería Acero	22,65
06LY	m2. Ecas. Int. Ladrillo	235,00	11LX	m2. Carpintería Aluminio	
06LZ	m2. Muros de ladrillo		11MX	m2. Carpintería Madera	
06PA	m2. Prefabricados metálicos	712,00			
06PH	m2. Prefabricados hormigón		11	CARPINTERIA Y SEGURIDAD	
06	ALBAÑILERIA				
			12XX	m2. Acristalamientos	
07HX	m2. Cubiertas Horizontales		12	VIDRIERIA	
07IX	m2. Cubiertas Inclinas	505,00			
07	CUBIERTAS		13EX	m2. Pinturas Exteriores	
			13IX	m2. Pinturas Interiores	
			13	PINTURAS	

ANEXO 1 - MODELO DE ENCUESTA (CANTIDADES) UTILIZADO POR EL GRUPO DE INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA



- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. SOTANO + PB + ENTREPLANTA 2. Tipo cimentación <ul style="list-style-type: none"> • Zapatas aisladas (A) 3. Tipo estructura <ul style="list-style-type: none"> • Metálica (M) 4. Tipo cubierta <ul style="list-style-type: none"> • Inclínada (I) 5. Tipo cerramiento | <ul style="list-style-type: none"> • Cerramiento prefabricado: metálico ó de hormigón. <ol style="list-style-type: none"> 6. Cerchas/pórticos <ul style="list-style-type: none"> • Pórticos 7. Tipo de soleras <ul style="list-style-type: none"> • Soleras pesadas 10SZ 8. Altura de la nave (<u>sin</u> incluir el pórtico ó cercha) = 8,00m 9. Luz de la nave = 15,00m |
|--|--|

ANEXO 2 - COMPLEMENTO DEL MODELO DE ENCUESTA (CANTIDADES) UTILIZADO POR EL GRUPO DE INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA