



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

# **ANÁLISIS Y ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE EDIFICIO DE RESIDENCIA: PROPUESTA DE SMART BUILDING**

*Isabel Rivero Alcorta*

Tutor: Íñigo Sanz Fernández  
Curso: 2021 – 2022

## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>12</b>
2.1. OBJETIVO PERSONAL	12
2.2. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	12
<b>3. Emplazamiento</b>	<b>14</b>
3.1. LOCALIZACIÓN	15
3.2. DISEÑO DEL EDIFICIO	16
<b>4. Edificios inteligentes</b>	<b>19</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	19
4.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	20
4.3. PROPÓSITOS Y OBJETIVOS	21
<b>5. Análisis de las emisiones gei</b>	<b>22</b>
5.1. INTRODUCCIÓN	22
5.2. EMISIONES GEI EN ESTADOS UNIDOS	23
<b>6. Consumo de electricidad del edificio</b>	<b>25</b>
6.1. SENSORES DE MOVIMIENTO	25
6.1.1. <i>Introducción</i>	25
6.1.2. <i>Esquema eléctrico y de montaje</i>	26
6.1.3. <i>Codificación de un sensor</i>	27
6.1.4. <i>Posicionamiento de sensor por planta</i>	28
6.1.5. <i>Número total de sensores</i>	29
6.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	30
6.2.1. <i>Análisis del clima en champaign (il) y emplazamiento</i>	30
6.2.2. <i>Análisis del consumo eléctrico del edificio</i>	36
6.2.3. <i>Análisis de horas de sol pico</i>	38
6.2.4. <i>Cálculo de potencia de la instalación</i>	41
6.2.5. <i>Instalación de paneles fotovoltaicos</i>	42

<b>7. Consumo de agua del edificio</b>	<b>43</b>
7.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA	43
7.2. SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN DE CISTERNAS	44
7.2.1. <i>Introducción</i>	45
7.2.2. <i>Comparativa con inodoro americano</i>	45
7.2.3. <i>Funcionamiento de sistema de doble pulsación</i>	47
7.2.4. <i>Ahorro de agua con sistema de doble pulsación</i>	49
7.3. SISTEMA DE REGULACIÓN DE AGUA DE DUCHAS	50
7.3.1. <i>Grifo monomando vs. Grifo termostático</i>	50
7.3.2. <i>Ahorro de agua con grifo termostático</i>	53
<b>8. Análisis económico del proyecto</b>	<b>54</b>
8.1. SENSORES DE MOVIMIENTO	54
8.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	55
8.3. SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN DE CISTERNAS	58
8.4. SISTEMA DE REGULACIÓN DE DUCHAS	59
8.5. ANÁLISIS ECONÓMICO TOTAL	61
<b>9. Planificación y acciones futuras</b>	<b>64</b>
9.1. PLANIFICACIÓN	64
9.2. ACCIONES FUTURAS	65
<b>10. Conclusiones</b>	<b>67</b>
<b>11. Bibliografía</b>	<b>69</b>
<b>12. Anexos</b>	<b>75</b>
12.1. ANEXO 1: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE CO <sub>2</sub> EN EE. UU.	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1: Recibidor. Fuente: Google Maps Maps .....	Ilustración 1.2: Oficinas. Fuente: Google Maps .....	9
Ilustración 1.3: Gimnasio. Fuente: Google Maps Google Maps.....	Ilustración 1.4: Sala de deporte. Fuente: Google Maps.....	9
Ilustración 1.5: Sala de estudio (1). Fuente: Google Maps Fuente: Google Maps.....	Ilustración 1.6: Sala de estudio (2). Fuente: Google Maps.....	10
Ilustración 1.7: Bolera. Fuente: Google Maps Google Maps.....	Ilustración 1.8: Billar y Ping-Pong. Fuente: Google Maps.....	10
Ilustración 1.9: Sala de cine. Fuente: Google Maps Google Maps.....	Ilustración 1.10: Simulador de Golf. Fuente: Google Maps.....	10
Ilustración 1.11: Cocina y salón. Fuente: Google Maps Google Maps.....	Ilustración 1.12: Habitación. Fuente: Google Maps.....	11
Ilustración 1.13: Jacuzzi. Fuente: Google Maps Maps .....	Ilustración 1.14: Barbacoa. Fuente: Google Maps .....	11
Ilustración 2.1: ODS. Fuente: Naciones Unidas.....		13
Ilustración 3.1: HERE (vista EE.UU.). Fuente: Google Maps Fuente: Google Maps.....	Ilustración 3.2: HERE (vista Champaign). Fuente: Google Maps.....	15
Ilustración 3.3: Distribución de planta. Fuente: Página web de HERE.....		16
Ilustración 3.4: Plano de una planta de HERE. Fuente: Elaboración propia.....		17
Ilustración 3.5: Representación en 3D de un apartamento (piso inferior). Fuente: Elaboración propia .....		18
Ilustración 3.6: Representación en 3D de un apartamento (piso superior). Fuente: Elaboración propia .....		18
Ilustración 4.1: Edificio inteligente con características principales. Fuente: Google Imágenes .....		19
Ilustración 5.1: Países que más contaminan el aire. Fuente: Statista.....		23
Ilustración 5.2: Gráfico de barras de consumo de CO2 per capita. Fuente: Elaboración propia.....		24
Ilustración 6.1: Esquema eléctrico y de montaje PIR. Fuente: Luis Llamas .....		26
Ilustración 6.2: Colocación de sensores PIR. Fuente: Elaboración propia.....		28
Ilustración 6.3: Temperatura por horas en Champaign (2021). Fuente: Weather Spark.....		30
Ilustración 6.4: Temperatura media por meses en 2021. Fuente: Elaboración propia.....		31
Ilustración 6.5: Climograma de Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia.....		32
Ilustración 6.6: Edificio de HERE visto desde arriba. Fuente: Google Maps .....		33
Ilustración 6.7: Trayectoria del Sol. Fuente: Solar Profit.....		34
Ilustración 6.8: HSP por meses (Inclinación: 0°). Fuente: Elaboración propia .....		39

Ilustración 6.9: HSP por meses (Inclinación: 31,6 <sup>a</sup> ). Fuente: Elaboración propia .....	40
Ilustración 6.10:HSP comparativa. Fuente: Elaboración propia .....	41
Ilustración 7.1: Gráfico de consumo de agua en EE.UU. en 2016. Fuente: US EPA, 2022.....	44
Ilustración 7.2: Medida de altura del inodoro. Fuente: Vídeo de Roca .....	47
Ilustración 7.3: Colocación de palanca en función de altura. Fuente: Vídeo de Roca .....	48
Ilustración 7.4: Tanques del descargador de la cisterna. Fuente: Vídeo de Roca.....	48
Ilustración 8.1: Gráfico de barras de desglose de costes. Fuente: Elaboración propia.....	62
Ilustración 8.2: Gráfico de sectores de desglose de costes. Fuente: Elaboración propia.....	62
Ilustración 8.3: Gráficos de sectores: horas de trabajo y coste total. Fuente: Elaboración propia .....	63
Ilustración 9.1: Grifo de lavabo con sensor. Fuente: Amazon.....	65
Ilustración 10.1: Llave imantada. Fuente: Cooperator News .....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1: Temperatura Media (°C) en Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia .....	31
Tabla 6.2: Lluvia y Nieve (mm) en Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 6.3: Horas de sol pico por meses (Inclinación: 0°). Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero).....	38
Tabla 6.4: Ángulo óptimo de inclinación por meses. Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero).....	39
Tabla 6.5: Horas de sol pico por meses (Inclinación: 31,6°). Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero) .....	40
Tabla 7.1: Grifo monomando vs. Grifo termostático. Fuente: Cronoshare .....	50
Tabla 7.2: Costes: monomando y termostático. Fuente: Elaboración propia .....	52
Tabla 8.1: Coste medio paneles solares por tamaño en Champaign, IL. Fuente: Energy Sage .....	56
Tabla 8.2: Desglose de coste total. Fuente: Elaboración propia.....	62
Tabla 8.3: Coste en función de horas de trabajo. Fuente: Elaboración propia .....	63
Tabla 9.1: Planificación Septiembre 2022. Fuente: Elaboración propia .....	64
Tabla 9.2: Planificación Diciembre 2022. Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 10.1: Ahorro de agua general. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 12.1: Anexo 2: Consumo CO2 en EE.UU. Fuente:Expansión .....	76

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 5.1: Consumo de CO2 por persona en China.....	23
Ecuación 5.2: Consumo de CO2 por persona en Estados Unidos .....	24
Ecuación 6.1: Cálculo de energía consumida .....	25
Ecuación 6.2: Número total de sensores.....	29
Ecuación 6.3: Área de la planta de HERE.....	33
Ecuación 6.4: Consumo eléctrico medio anual.....	36
Ecuación 6.5: Consumo eléctrico medio diario .....	36
Ecuación 6.6: Consumo eléctrico medio por horas .....	37
Ecuación 6.7: Factor de simultaneidad de consumo eléctrico .....	37
Ecuación 6.8: Media de horas de sol pico (Inclinación: 0°) .....	38
Ecuación 6.9: Media de ángulo óptimo de inclinación.....	39
Ecuación 6.10: Media de horas de sol pico (Inclinación: 31,6°) .....	40
Ecuación 6.11: Potencia de la instalación.....	41
Ecuación 6.12: Potencia de la instalación con valores numéricos.....	42
Ecuación 6.13: Número de paneles fotovoltaicos.....	42
Ecuación 6.14: Número de paneles fotovoltaicos con valores sustituidos .....	42
Ecuación 6.15: Área total que ocupan los paneles.....	42
Ecuación 7.1: Conversión de galones a L.....	43
Ecuación 7.2: Consumo de agua medio diario .....	43
Ecuación 7.3: Consumo de agua medio anual .....	43
Ecuación 7.4: Consumo de agua en inodoro .....	44
Ecuación 7.5: Volumen inodoro americano .....	46
Ecuación 7.6: Volumen inodoro doble pulsación.....	46
Ecuación 7.7: Número total de inodoros en HERE .....	49
Ecuación 7.8: Consumo total inodoro americano.....	49
Ecuación 7.9: Consumo total inodoro doble pulsación .....	49
Ecuación 7.10: Diferencia entre consumos de inodoros.....	49
Ecuación 7.11: Consumo de agua en duchas.....	50
Ecuación 7.12: Coste de Ciclo de Vida .....	51
Ecuación 7.13: Coste de Ciclo de Vida simplificado .....	51
Ecuación 7.14: Coste de Ciclo de Vida – Grifo monomando.....	52
Ecuación 7.15: Coste de Ciclo de Vida – Grifo termostático.....	52

Ecuación 7.16: Número total de duchas en HERE .....	53
Ecuación 7.17: Consumo total ducha - grifo americano.....	53
Ecuación 7.18: Consumo total ducha - grifo termostático .....	53
Ecuación 7.19: Diferencia entre consumos de duchas.....	53
Ecuación 8.1: Conversión coste de sensor: euros a dólares.....	54
Ecuación 8.2: Coste de los sensores .....	54
Ecuación 8.3: Coste de la instalación .....	55
Ecuación 8.4: Coste total de los sensores PIR .....	55
Ecuación 8.5: Coste de sistemas fotovoltaicos sin incentivos .....	56
Ecuación 8.6: Coste de sistemas fotovoltaicos con incentivos .....	56
Ecuación 8.7: Coste de instalación de sistemas fotovoltaicos .....	57
Ecuación 8.8: Coste total de sistemas fotovoltaicos .....	57
Ecuación 8.9: Conversión coste de inodoro: euros a dólares .....	58
Ecuación 8.10: Coste de los inodoros.....	58
Ecuación 8.11: Precio promedio de instalación de un inodoro .....	59
Ecuación 8.12: Coste de la instalación de los inodoros.....	59
Ecuación 8.13: Coste total de los inodoros.....	59
Ecuación 8.14: Conversión coste de grifo: euros a dólares .....	60
Ecuación 8.15: Coste de los grifos .....	60
Ecuación 8.16: Coste de instalación de un único grifo.....	61
Ecuación 8.17: Coste de la instalación de los grifos .....	61
Ecuación 8.18: Coste total de los grifos termostáticos .....	61
Ecuación 8.19: Suma de coste total .....	63
Ecuación 8.20: Coste de trabajo de ingenieros .....	63
Ecuación 8.21: Coste final del proyecto .....	63
Ecuación 9.1: Consumo de agua en lavabo con grifo tradición .....	66
Ecuación 9.2: Consumo de agua en lavabo con grifo con sensor.....	66
Ecuación 9.3: Ahorro de agua diario en lavabo.....	66
Ecuación 9.4: Ahorro de agua anual en lavabo .....	66
Ecuación 10.1: Precio de agua de grifo EE.UU.....	68



## 1. INTRODUCCIÓN

HERE es un edificio de residencia universitaria localizado en Champaign, Illinois (Estados Unidos). Se trata de un complejo de apartamentos de estudiantes de 2 a 4 habitaciones y 15 plantas. Además de apartamentos, las primeras plantas recogen zonas comunes como salas de estudio, zona de entretenimiento, sala de cine, gimnasio, etc.

La primera planta recoge la recepción, justo en frente de la puerta de entrada, una sala de estar, que tiene la finalidad de crear un ambiente acogedor para invitados y las oficinas de administración de los alquileres.

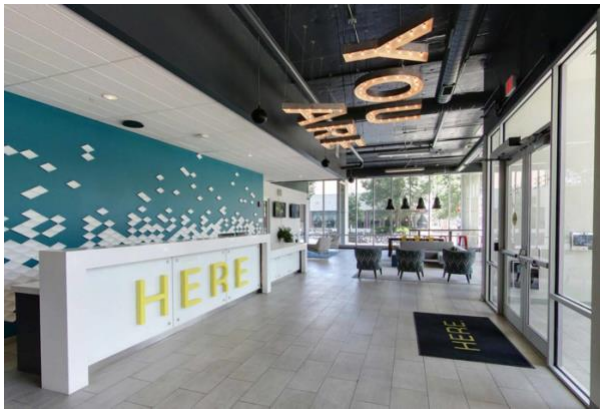


Ilustración 1.1: Recibidor. Fuente: Google Maps

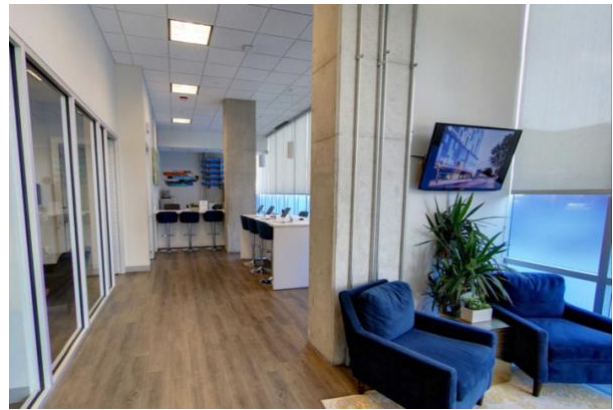


Ilustración 1.2: Oficinas. Fuente: Google Maps

La segunda planta consta de un gimnasio amplio, una sala de ejercicio o baile a disposición de los inquilinos con reserva previa, una sauna y un solárium.

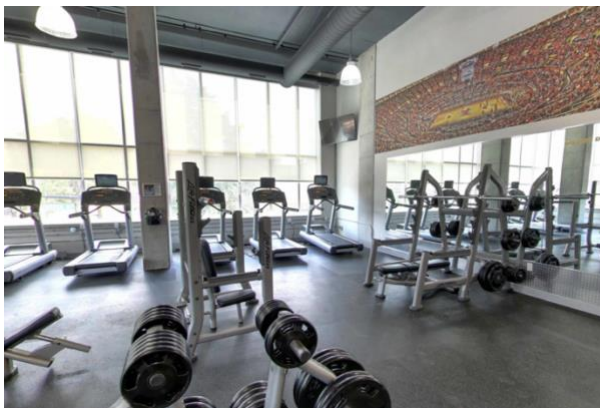


Ilustración 1.3: Gimnasio. Fuente: Google Maps

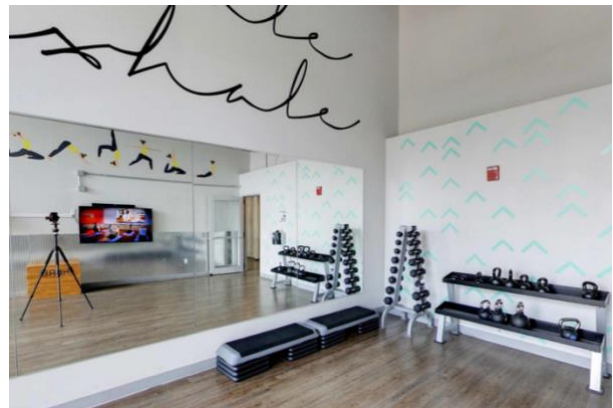


Ilustración 1.4: Sala de deporte. Fuente: Google Maps

La cuarta planta puede considerarse la planta de ocio y cultura del edificio. Dentro de la parte de cultura, recoge las salas de estudio del edificio. Por parte del ocio, incluye simulador de golf, bolera, billar y sala de cine.



Ilustración 1.5: Sala de estudio (1). Fuente: Google Maps



Ilustración 1.6: Sala de estudio (2). Fuente: Google Maps

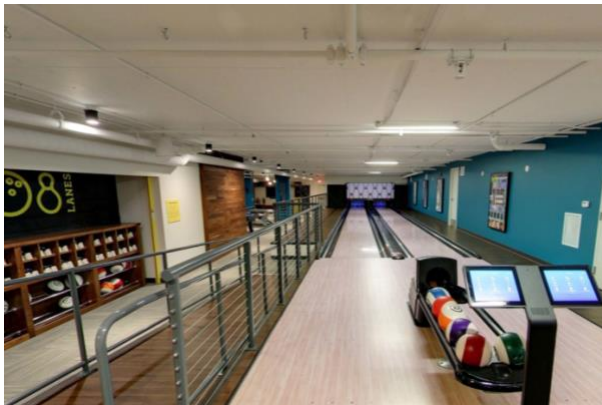


Ilustración 1.7: Bolera. Fuente: Google Maps



Ilustración 1.8: Billar y Ping-Pong. Fuente: Google Maps



Ilustración 1.9: Sala de cine. Fuente: Google Maps



Ilustración 1.10: Simulador de Golf. Fuente: Google Maps

El resto de las plantas, de la 5 a la 15, son residencias de los estudiantes. Todas las plantas están distribuidas de la misma forma; no obstante, cada zona se conoce de una determinada manera:

- Plantas 5-8: “Terrace”
- Plantas 9-12: “Aerial”
- Plantas 13-15: “Penthouse”

Todos los apartamentos cuentan con un salón estilo americano, es decir, cocina abierta. Las habitaciones son relativamente pequeñas, pero cuentan con cama de matrimonio, un armario y una mesa plegable, que se extrae del armario.



Ilustración 1.11: Cocina y salón. Fuente: Google Maps



Ilustración 1.12: Habitación. Fuente: Google Maps

La planta 5, además de residencias, consta de una amplia terraza con barbacoa y un pequeño jacuzzi que admite hasta un máximo de 13 personas.



Ilustración 1.13: Jacuzzi. Fuente: Google Maps



Ilustración 1.14: Barbacoa. Fuente: Google Maps

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO PERSONAL

El objetivo del proyecto es optimizar el edificio de HERE (Champaign, Illinois). Están comprometidos con la sostenibilidad, ya que tienen como meta reducir las emisiones de GEI, el consumo de energía y agua, y desviar los desechos del vertedero. No obstante, con este proyecto, se pretende ampliar la sostenibilidad creando una propuesta de "Smart Building".

Para desarrollar el "Smart Building", se han planteado diversos temas a tratar, entre los que se encuentran: emplazamiento, consumo de luz y electricidad, consumo de agua... Para ello, se ha recopilado la información necesaria y se han creado planos a raíz de información publicada en la página web de la residencia universitaria.

La principal motivación que hay detrás de este trabajo es conseguir crear un edificio sostenible de un edificio relativamente moderno en Urbana-Champaign (Illinois, USA). Habiendo vivido en la ciudad durante un año, se han analizado las múltiples mejoras que se pueden realizar a la residencia, simplemente con ligeras modificaciones.

Un edificio inteligente es verde, seguro y eficiente. Tienen como objetivo aumentar la eficiencia energética, la seguridad, la usabilidad y la accesibilidad. Por ello, otra de las principales motivaciones para llevar a cabo este trabajo es desarrollar una vivienda que se comprometa con el medio ambiente, reduciendo, consecuentemente, la huella de carbono.

### 2.2. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan la conciliación entre el crecimiento económico, el equilibrio medioambiental y el progreso social. De esta forma, buscan que todas las personas dispongan de las mismas oportunidades y lleven una vida mejor sin comprometer el planeta.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Garrett, C. (2022). *Desarrollo sostenible: definición, objetivos y ejemplos*. Climate consulting by Selectra. Obtenido el 10/04/2022 de <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible>

Fueron decretados el día 25 de septiembre de 2015 con la finalidad de obtener, a través de los 17 objetivos, metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.<sup>2</sup>



Ilustración 2.1: ODS. Fuente: Naciones Unidas

La ilustración anterior muestra todos los objetivos de desarrollo de sostenible, y son los siguientes:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables

<sup>2</sup> (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. Obtenido el 10/04/2022 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Con la creación de este edificio inteligente, se pretende llevar a cabo sobre todo los objetivos 7, 12 y 13. Como se verá a lo largo del trabajo, se desarrollarán cambios que están relaciones con las reducciones tanto de consumo eléctrico como de consumo de agua.

Para el ahorro del consumo eléctrico, se tomarán dos medidas:

- Sistema de sensor de luces  
Objetivo 12: Producción y consumo responsables
- Sistemas fotovoltaicos  
Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante

Para el ahorro del consumo de agua, se tomarán otras dos medidas:

- Sistema de doble pulsación de cisternas  
Objetivo 12: Producción y consumo responsables
- Sistema de regulación de agua de duchas  
Objetivo 12: Producción y consumo responsables

A su vez, todas las medidas están regidas por el objetivo 13: Acción por el clima.

### **3. EMPLAZAMIENTO**

El punto de partida del proyecto es indicar la localización de HERE, así como los planos del edificio en 2D y su diseño en 3D. Una vez ubicada la residencia, se procederá a realizar el estudio avanzado de los cambios que se consideran pertinentes para poder conseguir el objetivo final: crear un edificio inteligente a partir de un edificio moderno renovado recientemente.

### 3.1. LOCALIZACIÓN

HERE se encuentra localizado en la calle 308 E Green St, Champaign, IL 61820, Estados Unidos. E Green St es la calle principal de Champaign, lo que hace que HERE sea una de las principales residencias más buscadas por los estudiantes. Sus coordenadas geográficas son latitud de 40.115 y longitud de -88.27361; 40° 6' 54" Norte y 88° 16' 25" Oeste. A continuación, se muestra dicha localización vista desde Google Maps, desde un punto alejado que muestra su ubicación en Illinois y desde una vista ampliada de la ciudad de Champaign.

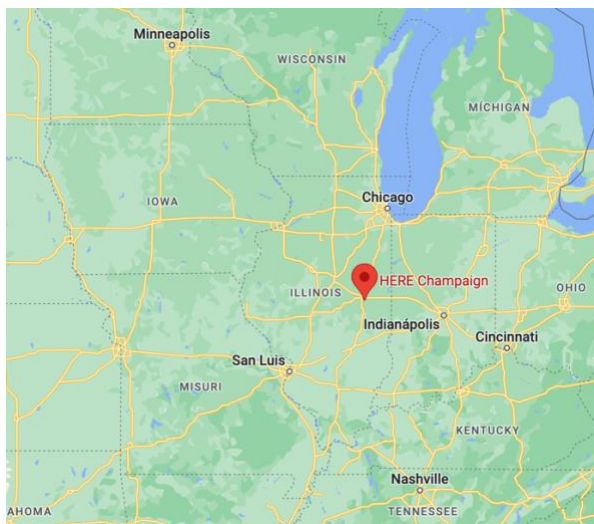


Ilustración 3.1: HERE (vista EE.UU.). Fuente: Google Maps

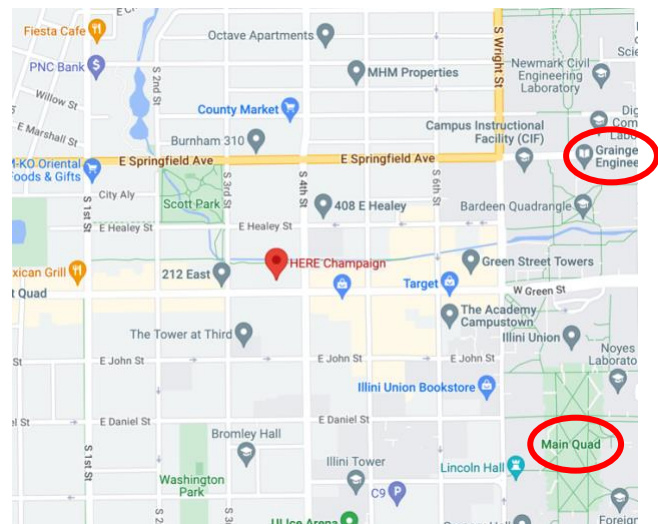


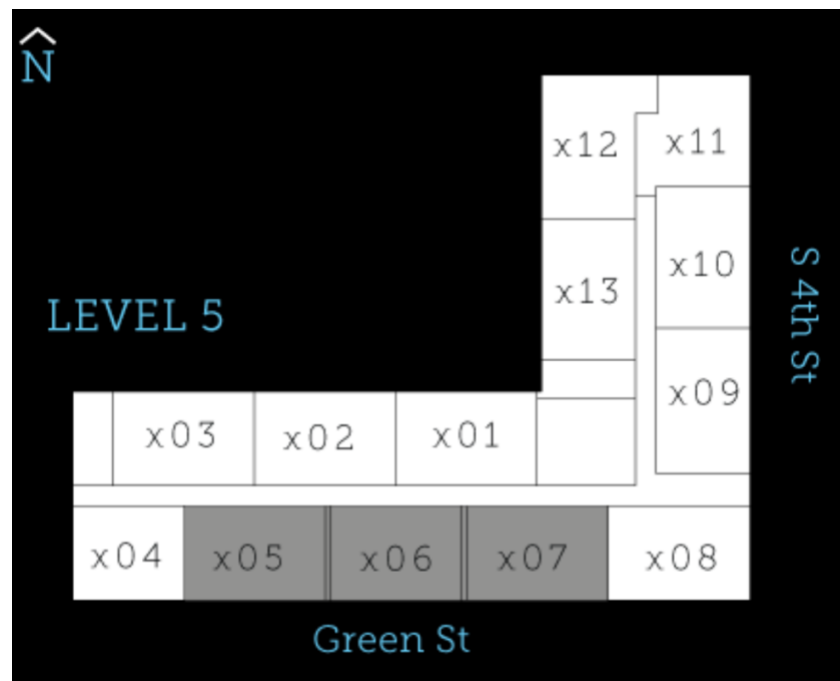
Ilustración 3.2: HERE (vista Champaign). Fuente: Google Maps

El mayor atractivo del edificio, a parte de ser relativamente moderno en cuanto a sus apartamentos e instalaciones, es su proximidad a los edificios más emblemáticos de la universidad. La mayor parte de los estudiantes acuden a la Universidad de Illinois con el objetivo de estudiar una ingeniería o una carrera vinculada con empresariales. En la Ilustración 3.2. se han rodeado en rojo dos edificios: *Grainger Engineering Library*, entorno a la cual se encuentran los edificios en los que se imparten clases relacionadas con ingeniería, y *Main Quad*, entorno al cual se encuentran los edificios que imparten clases relacionadas con empresariales.

Desde HERE a cualquiera de los dos edificios hay 0,5 millas, es decir, aproximadamente 800 metros. Esto en tiempo es algo menos de 10 minutos caminando.

### 3.2. DISEÑO DEL EDIFICIO

Tal y como se ha comentado en la introducción, las viviendas (plantas 5 a 15) están distribuidas de la misma forma. Un ejemplo de planta estándar sería el que se muestra en la *Ilustración 3.2*. Esta captura de pantalla corresponde a la planta 5, pero es el mismo hasta la planta 15.



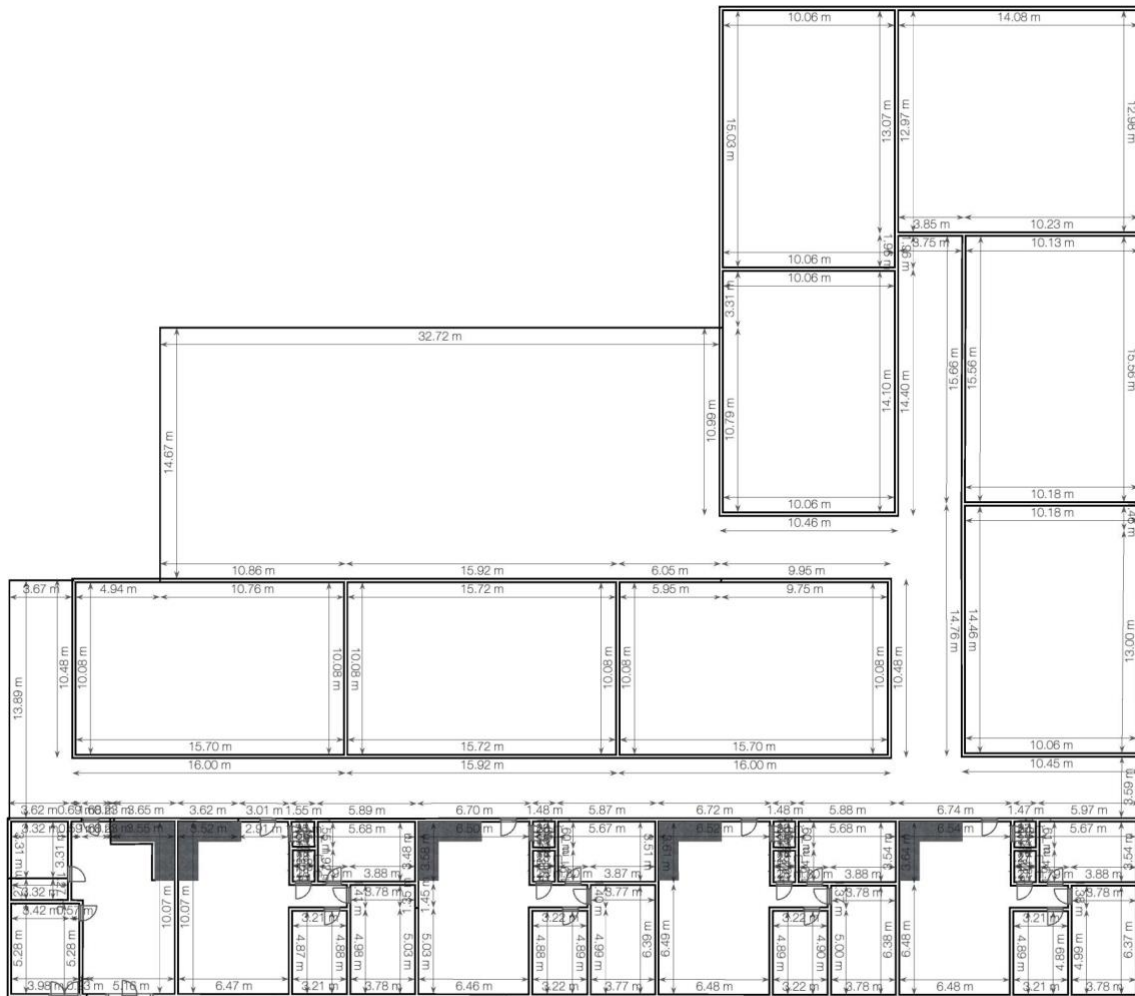
*Ilustración 3.3: Distribución de planta. Fuente: Página web de HERE*

Las residencias (por planta) están organizadas de la siguiente manera.

- x01, x02, x03, x08, x09, x10, x11, x12, x13
  - 4 habitaciones & 4 baños
  - Pies cuadrados: 1325
- x05, x06, x07
  - 4 habitaciones & 2 baños
  - Pies cuadrados: 1315
- x04
  - 2 habitaciones & 2 baños
  - Pies cuadrados: 923

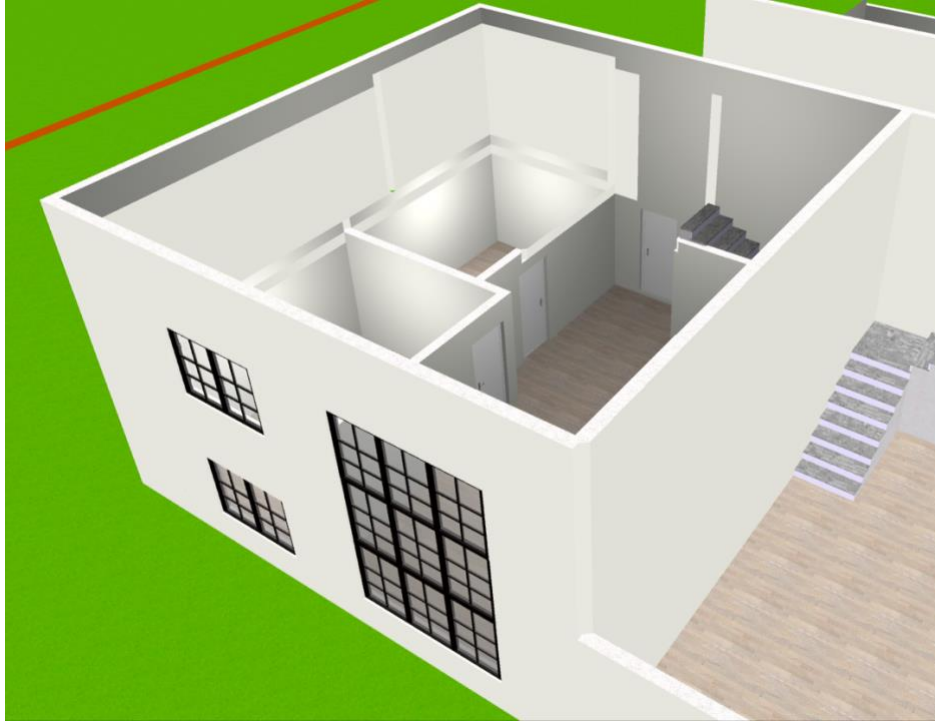


Tras numerosas veces intentando contactar con un directivo de HERE, no se consiguieron los planos del edificio. No obstante, a partir de imágenes de la web, así como la *Ilustración 3.2*, se han elaborado los planos a través de la aplicación: Home Design 3D.

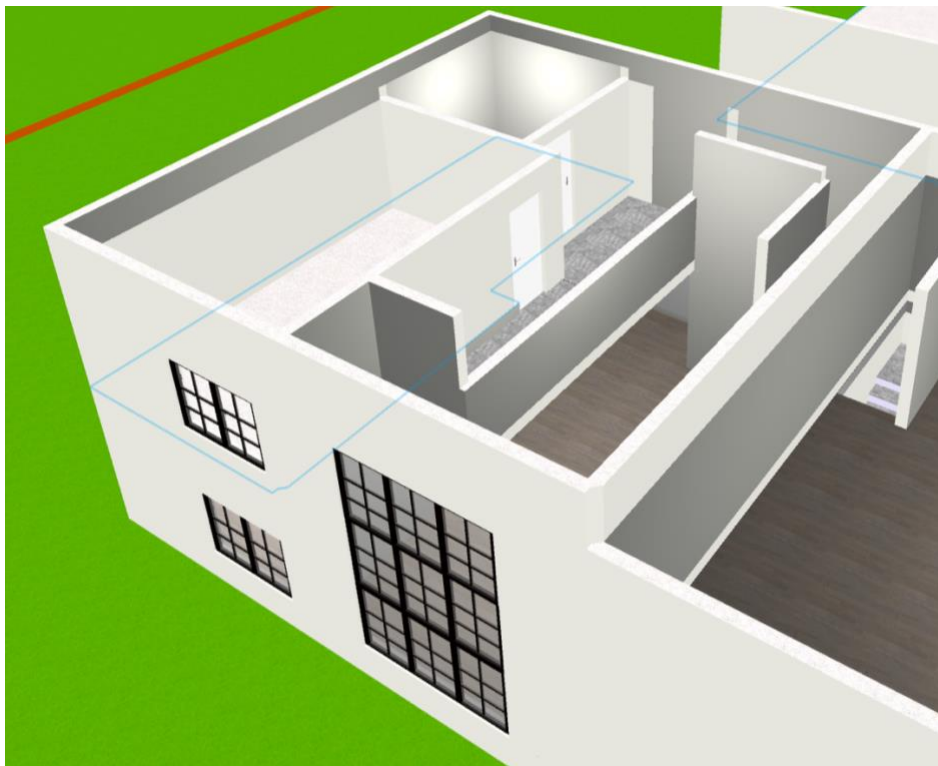


*Ilustración 3.4: Plano de una planta de HERE. Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se muestra en 3D la representación de un apartamento. Concretamente, es de dos habitaciones y dos baños. Todos los apartamentos tienen la misma estructura: dos pisos, con mitad de las habitaciones y aseos en la parte inferior, y la otra mitad en la parte superior.



*Ilustración 3.5: Representación en 3D de un apartamento (piso inferior). Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 3.6: Representación en 3D de un apartamento (piso superior). Fuente: Elaboración propia*

## 4. EDIFICIOS INTELIGENTES

El objetivo del trabajo, como se ha indicado previamente, es crear un edificio inteligente. Por ello, antes de proceder con las modificaciones, se procede a explicar el concepto y requisitos que este tipo de construcciones deben cumplir.

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Los edificios inteligentes (también conocidos como Smart Buildings, en inglés) son aquellos que constan de instalaciones y sistemas con alta tecnología que permiten controlar remotamente dispositivos automatizados con el fin de aumentar la eficiencia energética, seguridad, usabilidad y accesibilidad. El concepto de edificio inteligente es aplicable tanto a nuevas construcciones como a remodelaciones de construcciones ya creadas.



Ilustración 4.1: Edificio inteligente con características principales. Fuente: Google Imágenes

Dentro de las instalaciones y sistemas que componen un edificio inteligente<sup>3</sup>, se encuentran:

- Sistema de control de acceso
- Sistema de control de clima
- Sistema de control y eficiencia de iluminación eléctrica
- Sistema de detección de humo
- Sistema de alarma de intrusión

<sup>3</sup> (2022). *Edificios inteligentes en México*. Lamudi, Portal número 1 de bienes raíces. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.lamudi.com.mx/journal/edificios-inteligentes-en-mexico/>

Los dos pilares fundamentales de un edificio inteligente son la integración de los sistemas pertinentes y el ahorro energético. La integración de sistemas e instalaciones se consigue mediante la inmótica o automatización de edificios, que se explicará más adelante. Por otro lado, el ahorro energético se consigue mediante el empleo de nuevos sistemas energéticos, entre los que se encuentran las energías alternativas, el SATE...<sup>4</sup>

## ***4.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES***

Para que se de un edificio inteligente, debe cumplir unas determinadas características:

### Sistema de consumo eficiente

Es primordial que el edificio conste de un sistema de ahorro de agua y energía eléctrica. La forma para controlarlo es mediante la información que se recibe del consumo.

### Integración de todos los sistemas de control

Mediante la domótica, el sistema de control se encuentra centralmente automatizado con el objetivo de optimizar su operación y administración electrónicamente.

### Flexibilidad

Deben presentar gran capacidad de adaptación a las nuevas tecnologías, que están en constante evolución

### Responsabilidad con el medio ambiente

Deben integrarse con el entorno, priorizando el empleo de energías alternativas

### Ergonomía

Deben garantizar el bienestar de sus habitantes, principalmente mediante el cuidado de la estética y el confort. De este modo, hacen la vida más sencilla a los residentes.

---

<sup>4</sup> (2017). *¿Qué es un smart building y cómo se gestiona la eficiencia energética?* Blatem. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.blatem.com/es/actualidad/noticias/que-es-un-smart-building-y-como-gestiona-la-eficiencia-energetica>

### 4.3. *PROPÓSITOS Y OBJETIVOS*

De acuerdo con un artículo educativo de la Fundación Endesa<sup>5</sup>, los objetivos de un edificio inteligente son diferentes en función de su tipología.

#### **Objetivos arquitectónicos:**

- Satisfacer las necesidades presentes y futuras de los ocupantes, propietarios y operadores del edificio.
- La flexibilidad, tanto en la estructura como en los sistemas y servicios.
- La funcionalidad del edificio.
- Mayor confort para el usuario.
- El incremento de la seguridad.

#### **Objetivos tecnológicos:**

- La disponibilidad de medios técnicos avanzados de telecomunicaciones.
- La automatización de las instalaciones.
- La integración de servicios.

#### **Objetivos ambientales:**

- La creación de un edificio saludable.
- El ahorro energético.
- Integración del edificio con el medio donde está.

#### **Objetivos económicos:**

- La reducción de los altos costos de operación y mantenimiento.
- Beneficios económicos para el cliente.
- Incremento de la vida útil del edificio.
- La relación coste-beneficio.

---

<sup>5</sup> Educa, E., Educa, R. and domótica, S. (2022). *Smart building casa domótica*. Endesa. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-building-casa-domotica>

## 5. ANÁLISIS DE LAS EMISIONES GEI

Un gran avance, medioambientalmente hablando, que presenta el edificio de HERE es que está comprometido con la sostenibilidad. Es más, así se definen a ellos mismos:

*En HERE, creemos que la vida ecológica es más que una tendencia. Comprometidos con un enfoque que da prioridad a la Tierra, construimos y gestionamos comunidades sostenibles y nuestro objetivo es tener un impacto positivo en el medio ambiente al tiempo que mejoramos nuestra capacidad para ofrecer una experiencia de vida excepcional a los residentes. Al mismo tiempo que facilitamos a los residentes la tarea de reducir, reutilizar y reciclar, nos fijamos objetivos como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el desvío de residuos del vertedero y la reducción del consumo de energía y agua.<sup>6</sup>*

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero, también conocidos como GEI, son componentes naturales, que resultan de la actividad humana. Como principal característica, tienen la capacidad de absorber y emitir radiación infrarroja, causante del efecto invernadero. Los principales gases que causan el efecto invernadero son<sup>7</sup>:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
  - Quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo)
  - Quema de residuos sólidos y materiales biológicos
  - Reacciones químicas
- Metano (CH<sub>4</sub>)
  - Producción y transporte de carbón, gas natural y petróleo
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Gases fluorados
  - Procesos industriales

---

<sup>6</sup> HERE Champaign: Champaign, IL Student Apartments near UIUC. HERE Website. Obtenido el 07/05/2022 de <https://www.herechampaign.com/>

<sup>7</sup> (2017). Descripción general de los gases de efecto invernadero. EPA. Obtenido el 08/05/2022 de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>

## 5.2. EMISIONES GEI EN ESTADOS UNIDOS

Las emisiones acumulativas de dióxido de carbono son la causa principal del efecto invernadero y, consecuentemente, del cambio climático. Estas emisiones empezaron a crecer exponencialmente a raíz de la Revolución Industrial. Los países más ricos, como Estados Unidos, hicieron un cambio rápido a un sistema económico que se basa mayormente en los combustibles fósiles.

En la Ilustración 5.2.1. muestra los países con mayor volumen de emisiones de dióxido de carbono en 2020, medido en millones de toneladas.

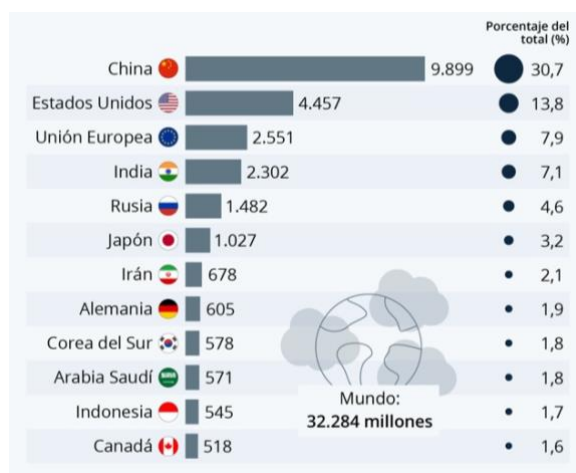


Ilustración 5.1: Países que más contaminan el aire. Fuente: Statista<sup>8</sup>

Teniendo en cuenta que China tiene una población de 1,402 miles de millones de personas y Estados Unidos de 329,5 millones de personas, se procede a analizar el volumen de emisión de CO<sub>2</sub> per cápita:

$$\frac{\text{China}}{\text{China}} = \frac{9.899 \text{ millones de toneladas}}{1,402 \text{ miles de millones de personas}} = \frac{9.899 \times 10^9 \text{ kg CO}_2}{1,402 \times 10^9 \text{ personas}} = 7.061 \text{ kg CO}_2/\text{persona}$$

Ecuación 5.1: Consumo de CO<sub>2</sub> por persona en China

<sup>8</sup> Mena Roa, M. (2021). *Los países que más contaminan el aire*. Statista. Obtenido el 08/05/2022 de <https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/>

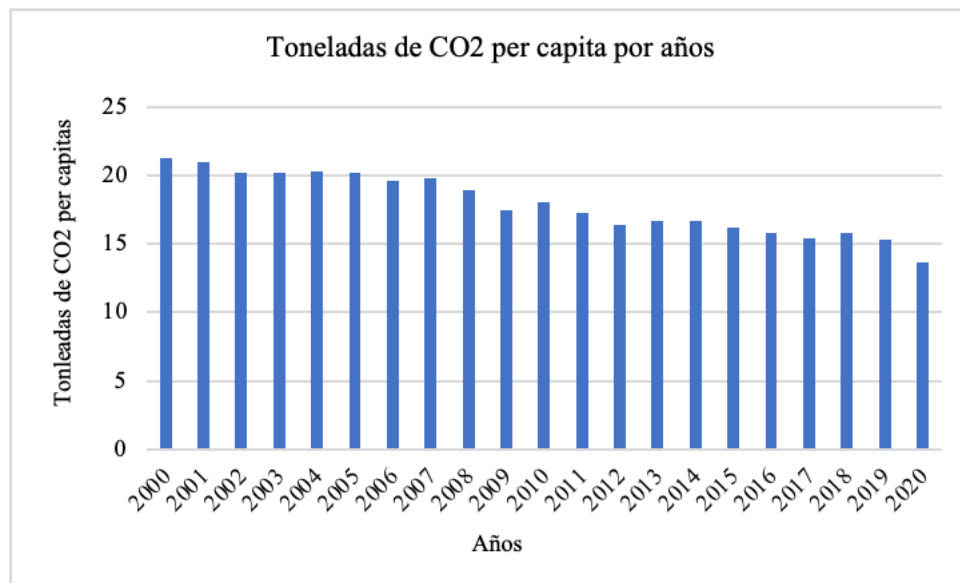
Estados Unidos

$$\frac{4.457 \text{ millones de toneladas}}{329,5 \text{ millones de personas}} = \frac{4.457 \times 10^9 \text{ kg CO}_2}{329,5 \times 10^6 \text{ personas}} = 13.527 \text{ kg CO}_2/\text{persona}$$

*Ecuación 5.2: Consumo de CO2 por persona en Estados Unidos*

A pesar de que el consumo de CO<sub>2</sub> en China duplique al de Estados Unidos, analizando el consumo per cápita se puede determinar que la población estadounidense produce mayor cantidad (el doble) de gases de efecto invernadero que la población china.

El *Anexo 1*, recoge información acerca de las emisiones de CO<sub>2</sub> de Estados Unidos a lo largo de los años. Recopilando la información de la tabla desde el año 2000 hasta el año 2020, se puede observar como el consumo per cápita ha ido disminuyendo a lo largo de los años.



*Ilustración 5.2: Gráfico de barras de consumo de CO2 per capita. Fuente: Elaboración propia*

Incrementando el número de edificios inteligentes en Estados Unidos, dentro de unos veinte años, el consumo de CO<sub>2</sub> será mínimo, consiguiendo así un entorno mucho más amigable con el medio ambiente.



## 6. CONSUMO DE ELECTRICIDAD DEL EDIFICIO

El segundo pilar fundamental de un edificio inteligente es el ahorro energético. Este se puede llevar a cabo mediante un control del consumo de electricidad y mediante un control del consumo de agua. Para llevar a cabo una reducción del consumo de electricidad, se pueden tomar dos medidas. La primera, establecer en el edificio sensores de movimiento, los cuales activen la luz únicamente cuando detecte que una persona se encuentra en la zona. La segunda, plantear la posibilidad de establecer sistemas fotovoltaicos, analizando el clima de Champaign y si fuera o no rentable.

### 6.1. *SENSORES DE MOVIMIENTO*

El edificio de HERE dispone actualmente de un sistema de luces que se mantiene todo el día encendido. Para reducir el consumo eléctrico, habría que empezar por reducir el tiempo de uso de las luces, pues el consumo eléctrico se calcula como:

$$\text{Energía consumida} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

*Ecuación 6.1: Cálculo de energía consumida*

Para reducir el consumo eléctrico, se plantea el uso de sensores de movimiento, que activan la luz únicamente cuando detectan movimiento en su radio de acción. El tipo elegido es el sensor infrarrojo pasivo (PIR) por su baja potencia, pequeño tamaño, precio barato y fácil de usar.

#### 6.1.1. *INTRODUCCIÓN*

Los sensores PIR se basan en la medición de la radiación infrarroja. Todos los cuerpos emiten una cierta cantidad de energía infrarroja, que aumenta proporcionalmente con la temperatura. Estos dispositivos son capaces de captar la radiación emitida y convertirla en una señal eléctrica.

Cada sensor está dividido en dos campos, con un circuito eléctrico que compensa ambas mediciones. Si ambos campos realizan una medición diferente de infrarrojos, generan una señal eléctrica. No obstante, si realizan la misma medición, la señal eléctrica resultante es nula.

El otro elemento necesario es la óptica del sensor, una cúpula de plástico formada por lentes de fresnel, que divide el espacio en zonas, y enfoca la radiación infrarroja a cada uno de los campos del PIR. Cada uno de los sensores capta un promedio de la radiación infrarroja del entorno. Cuando un objeto entra en el rango del sensor, alguna de las zonas marcadas por la óptica recibirá una cantidad distinta de radiación, emitiendo una alarma.

### 6.1.2. ESQUEMA ELÉCTRICO Y DE MONTAJE

Los sensores PIR se caracterizan porque tienen tres patas de conexión o salen tres cables de él.

- El cable negro: conectado a tierra
- El cable rojo: conectado al polo positivo
- El cable verde: salida del punto de detección

*En la Ilustración 6.1.2. es de color verde, pero suele ser marrón*

A continuación, se muestran ambos esquemas: eléctrico y de montaje del sensor PIR.

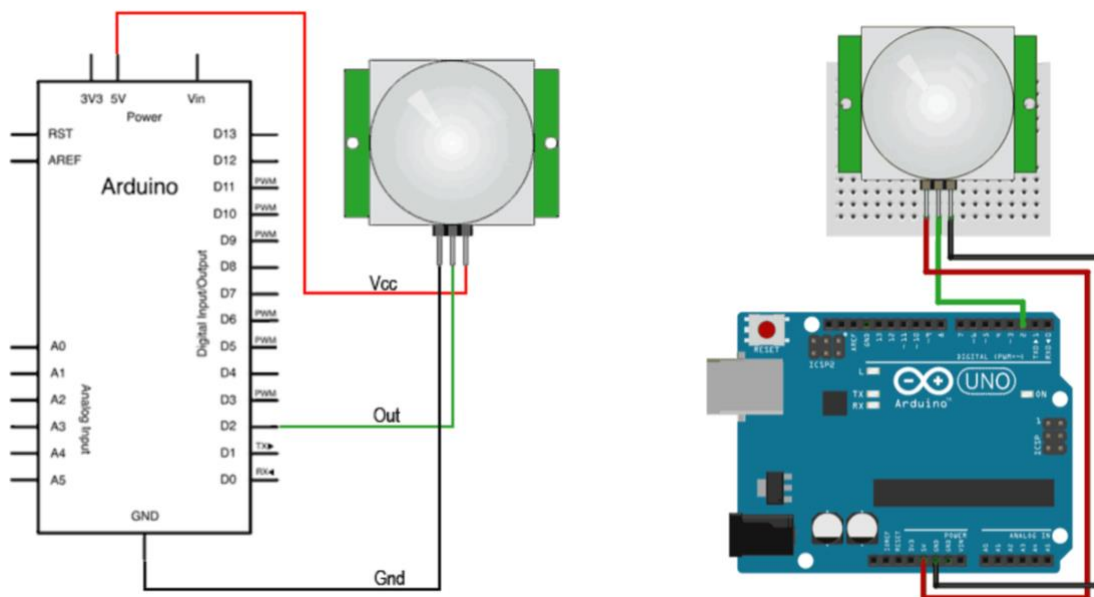


Ilustración 6.1: Esquema eléctrico y de montaje PIR. Fuente: Luis Llamas<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Llamas, L. (2022). *Detector de movimiento con Arduino y sensor PIR*. Luis Llamas. Obtenido el 10/05/2022 de <https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>

### 6.1.3. CODIFICACIÓN DE UN SENSOR

La codificación del sensor PIR se encarga de leer la salida del PIR y hace que el LED parpadee mientras la señal esté activada. El código es el siguiente:

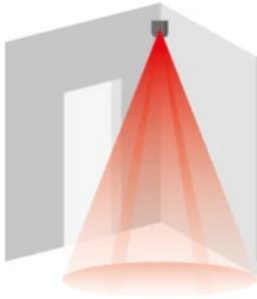
```
const int LEDPin= 13;
const int PIRPin= 2;
void setup()
{
  pinMode(LEDPin, OUTPUT);
  pinMode(PIRPin, INPUT);
}
void loop()
{
  int value= digitalRead(PIRPin);

  if (value == HIGH)
  {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    delay(50);
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    delay(50);
  }
  else
  {
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
  }
}
} 10
```

---

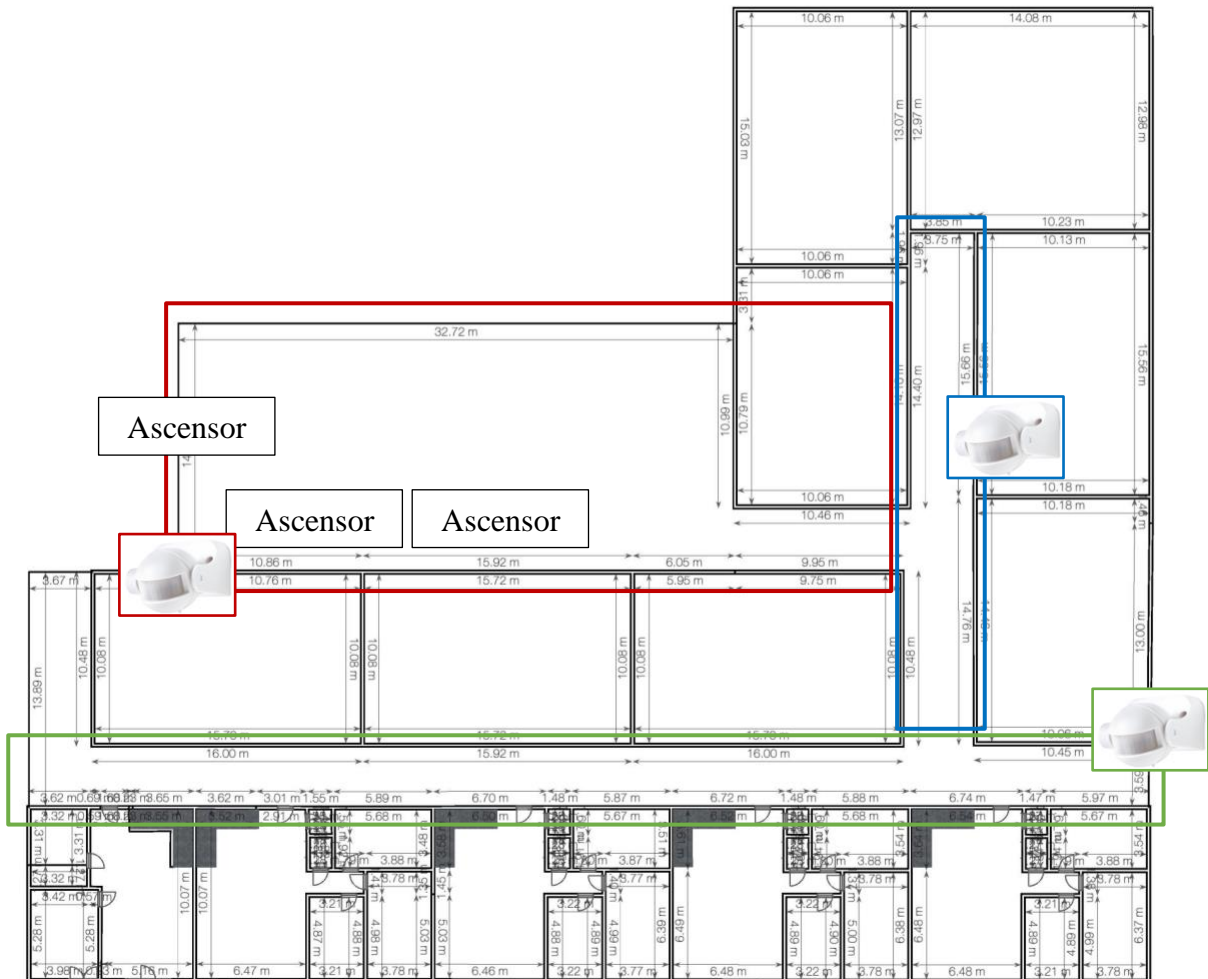
<sup>10</sup> Llamas, L. (2022). *Detector de movimiento con Arduino y sensor PIR*. Luis Llamas. Obtenido el 10/05/2022 de <https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>

**6.1.4. POSICIONAMIENTO DE SENSOR POR PLANTA**



Los sensores PIR escogido para detectar el movimiento de los residentes cubren un radio de aproximadamente 12 metros desde el punto en el que se encuentran. Asimismo, tiene un ángulo de detección de 180°. A continuación, se muestran los tres puntos escogidos en cada planta para situar dichos sensores, marcados por zonas.

- Zona roja: Cubre la salida de los ascensores. Activa la luz del recibidor de la planta.
- Zona azul: Cubre el primer pasillo de la planta.
- Zona verde: Cubre el segundo pasillo de la planta.



*Ilustración 6.2: Colocación de sensores PIR. Fuente: Elaboración propia*

Las tres zonas se han escogido teniendo como principal objetivo el ahorro energético. Al fin y al cabo, resulta mucho más económico activar la luz en las zonas en las que se detecta movimiento que en toda la planta entera. El posicionamiento de cada uno de los tres sensores se ha llevado a cabo teniendo en cuenta el alcance de estos. Por tanto, como se puede observar en el plano de la planta, ningún sensor dista más de 12 metros de la entrada de cada zona marcada (roja, azul o verde).

### ***6.1.5. NÚMERO TOTAL DE SENSORES***

Una vez determinado el posicionamiento de los sensores, se procede a calcular el número total de sensores necesarios para el edificio completo. Este cálculo será útil para el análisis económico que se desarrollará al final del trabajo.

El plano que se muestra en el apartado 6.1.4. recoge únicamente la distribución de los sensores de las plantas 5 a la 15, ambas incluidas. Por coherencia y seguridad, se considera que la planta 1 debe mantener la luz encendida de forma constante, lo cual prescinde de sensor. En la segunda planta bastaría con dos sensores, uno en la entrada del gimnasio y otro en la entrada de la sala de deporte. En la cuarta planta se necesitarían tres sensores, uno por cada zona: sala de estudio, simulador de golf y bolera. La sala de cine puede prescindir de sensor, ya que las luces durante la película deberán permanecer apagadas y no deberían activarse con la detección de movimiento.

Por tanto, el número de sensores se distribuiría de la siguiente forma:

- Planta 2: 2 sensores
- Planta 4: 3 sensores
- Plantas 5 – 15:
  - 3 sensores por planta

El número total de sensores es el siguiente:

$$\text{n}^{\circ} \text{ sensores} = 2 + 3 + 3 \times 11 = 38 \text{ sensores}$$

*Ecuación 6.2: Número total de sensores*

## 6.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 6.2.1. ANÁLISIS DEL CLIMA EN CHAMPAIGN (IL) Y EMPLAZAMIENTO

Otra de las posibles soluciones que podrían contribuir a la reducción de consumo eléctrico es mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos. Para ello, resulta imprescindible analizar el clima de Champaign, así como el emplazamiento del edificio. Una vez analizados ambos factores, se procederá a tomar la decisión de si es o no útil la instalación de dichos paneles.

#### 6.2.1.1. ANÁLISIS DEL CLIMA EN CHAMPAIGN

Para un correcto análisis del clima en Champaign (Illinois) es necesario evaluar la temperatura y las precipitaciones y nevadas en el territorio.

La Ilustración 6.2. recoge la temperatura por horas en Champaign, con datos reales del año 2021. Se puede observar como a lo largo del año las temperaturas son muy extremas, frías en invierno (noviembre, diciembre, enero y febrero) y tórridas en verano (mayo, junio, julio, agosto y septiembre).

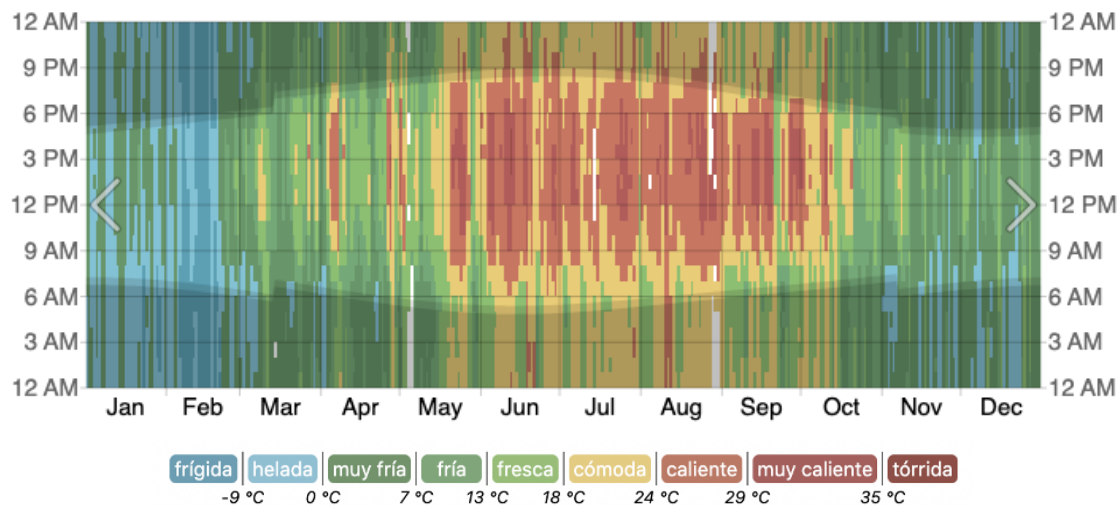


Ilustración 6.3: Temperatura por horas en Champaign (2021). Fuente: Weather Spark<sup>11</sup>

<sup>11</sup> (2021). 2021 Weather History in Champaign. Weather Spark. Obtenido el 10/05/2022 de <https://weatherspark.com/h/y/13280/2021/Historical-Weather-during-2021-in-Champaign-Illinois-United-States#Figures-ColorTemperature>

Las ilustraciones, tablas y gráficos que se muestran a continuación han sido elaborados con los datos obtenidos de *Weather Spark*<sup>12</sup>. Resulta difícil hacer una evaluación con la gráfica que se muestra en la Ilustración 6.2. Por ello, se procede a realizar un análisis detallado.

La siguiente tabla muestra la temperatura media por meses en Champaign en 2021:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Alta	1,11	3,33	10,56	16,11	23,89	28,33	29,44	28,33	25,00	18,33	10,56	3,33
Media	-3,33	-1,67	4,44	11,11	17,22	22,22	23,89	22,78	18,89	12,22	5,56	-1,11
Baja	-6,67	-5,00	0,56	6,11	11,67	16,67	18,33	17,22	13,33	6,67	1,11	-4,44

Tabla 6.1: Temperatura Media (°C) en Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia

Gráficamente, queda representado de la siguiente manera:

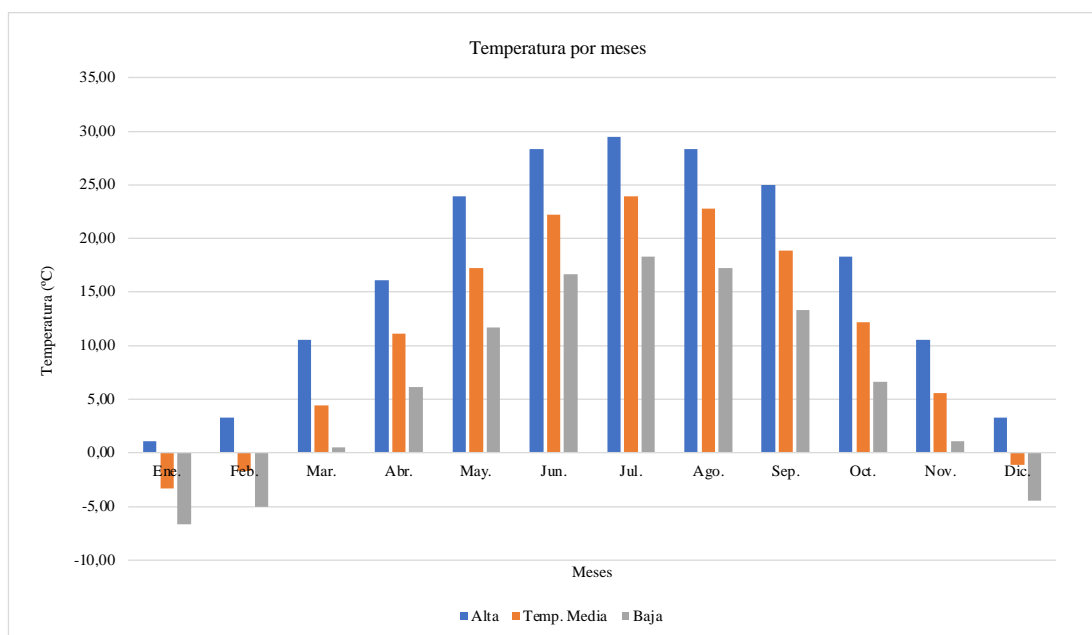


Ilustración 6.4: Temperatura media por meses en 2021. Fuente: Elaboración propia

<sup>12</sup> (2021). *Climate and Average Weather Year Around In Champaign*. Weather Spark. Obtenido el 10/05/2022 de <https://weatherspark.com/y/13280/Average-Weather-in-Champaign-Illinois-United-States-Year-Round#Sections-Rain>

Analizada la temperatura media, se procede a recopilar los datos de precipitaciones y nevadas en 2021, que se muestran en la siguiente tabla:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Lluvia	32,0	34,0	53,8	84,4	98,4	97,0	84,4	78,9	71,6	70,8	69,1	49,0
Nieve	99,6	95,0	39,6	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	21,9	97,0

Tabla 6.2: Lluvia y Nieve (mm) en Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia

El conjunto de temperaturas y precipitaciones se recoge en el siguiente climograma:

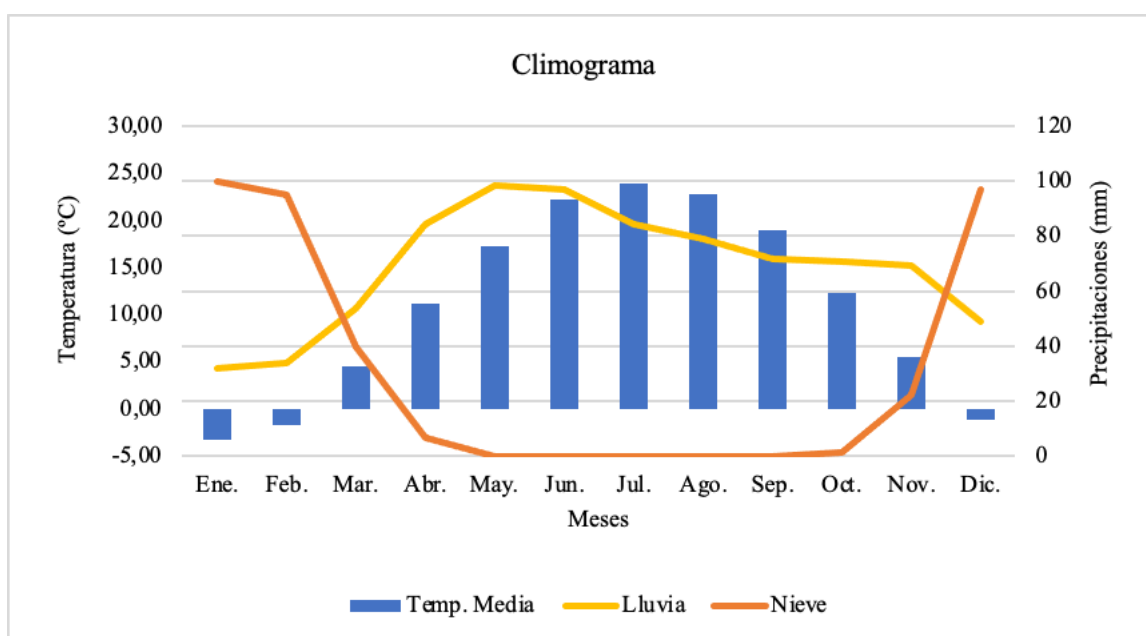


Ilustración 6.5: Climograma de Champaign en 2021. Fuente: Elaboración propia

### 6.2.1.2. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO

El análisis de emplazamiento abarca desde la localización / ubicación hasta la forma del edificio. La orientación es un aspecto clave, a la vez que fundamental, para la toma de decisión del establecimiento de los paneles solares. Resulta evidente que no recibe la misma cantidad de luz un edificio orientado al sol, que uno orientado al norte. Por ello, se utilizará la herramienta de Google Maps para sacar la información necesaria.



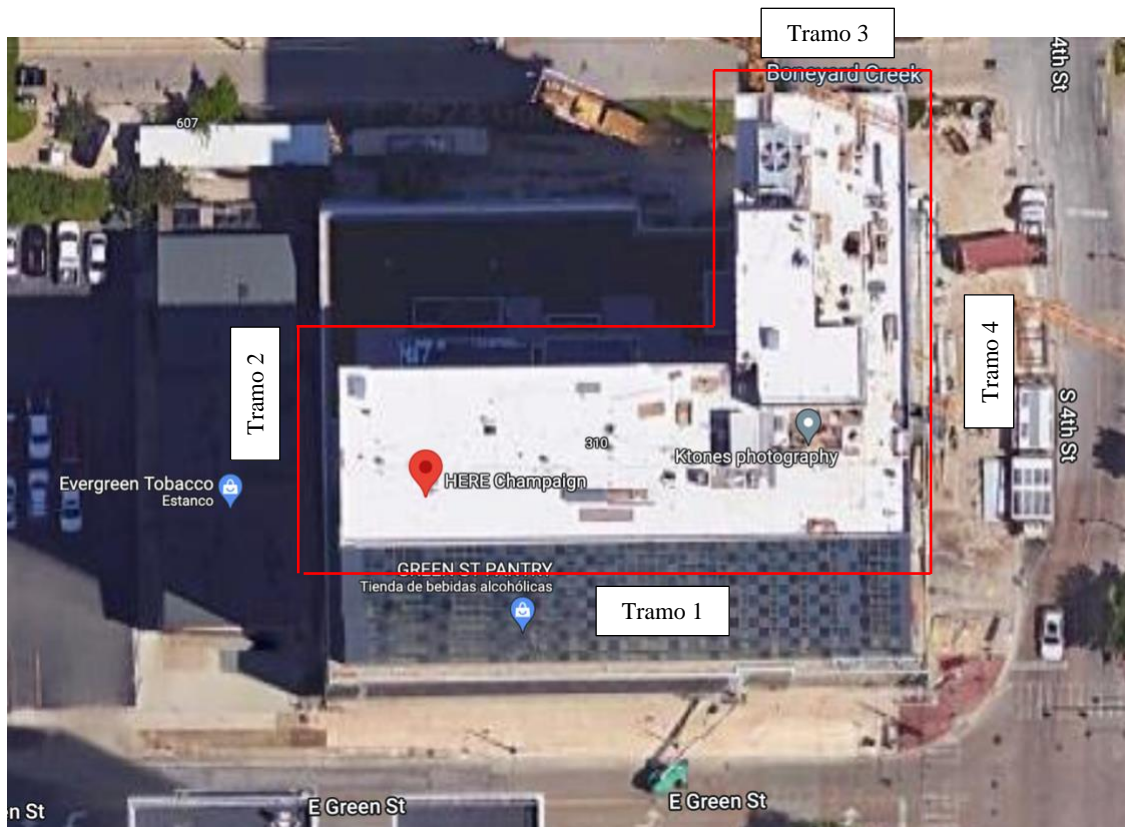


Ilustración 6.6: Edificio de HERE visto desde arriba. Fuente: Google Maps

La planta del edificio se encuentra recuadrada en color rojo, con forma de L. Las dimensiones del edificio, aproximadas, son las siguientes:

- Tramo 1: 65 metros.
- Tramo 2: 30 metros.
- Tramo 3: 20 metros.
- Tramo 4: 50 metros.

Por lo que el área de la planta sería:

$$65 \times 30 + (50 - 30) \times 20 = 2350 \text{ m}^2$$

Ecuación 6.3: Área de la planta de HERE

El área del que se dispone para colocar los paneles fotovoltaicos es de 2350 m<sup>2</sup>.

Una vez determinado el área, se procede a analizar la ubicación del edificio. **HERE** se encuentra en la intersección de dos calles: *E Green St* y *S 4th St*. La primera letra de cada nombre indica su coordenada cartesiana. Por tanto:

- E: Este
- S: Sur

El edificio tiene ubicación sudeste.

La mejor orientación para colocar paneles solares es la sur, debido a que Illinois se encuentra en el hemisferio norte. Esta orientación garantiza que los paneles se encuentren de cara al Sol en las horas centrales del día, es decir, las horas de máxima radiación. Esto equivale a la orientación óptima en términos de producción<sup>13</sup>.

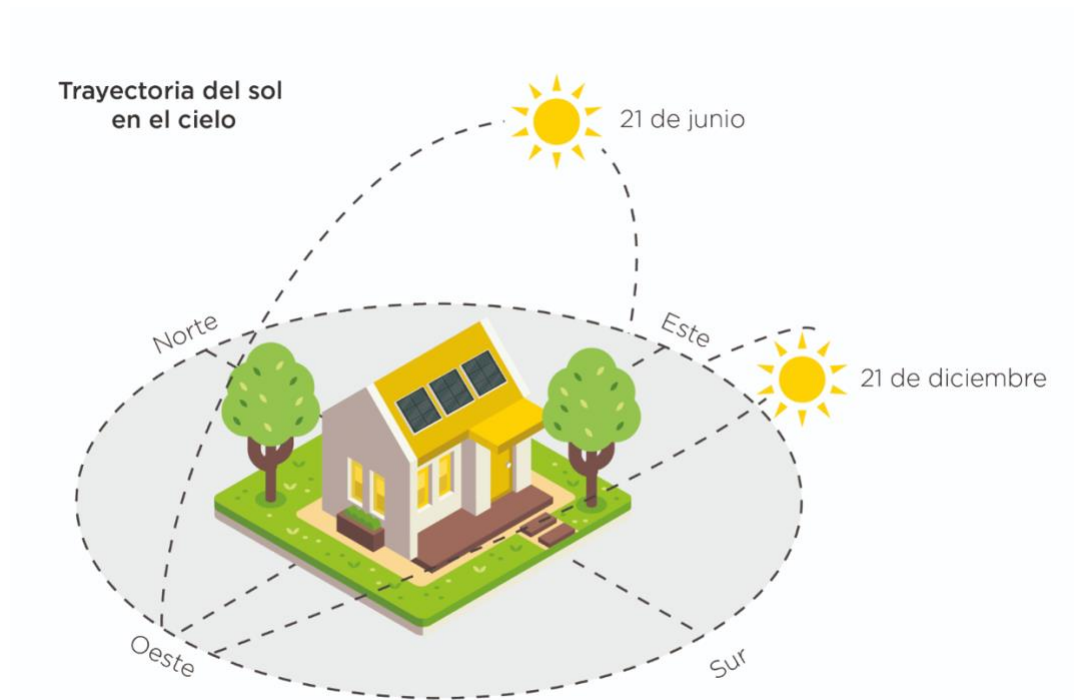


Ilustración 6.7: Trayectoria del Sol. Fuente: Solar Profit

<sup>13</sup> *Todo lo que hay que saber a la hora de decidir la orientación y la inclinación de las placas solares.* Solar Profit. Obtenido el 11/05/2022 de <https://solarprofit.es/es/blog/inclinacion-y-orientacion-placas-solares/#None>

### 6.2.1.3. DECISIÓN EN BASE A CLIMA Y EMPLAZAMIENTO

Analizados el clima y el emplazamiento, se recoge la siguiente información:

- Temperatura fría en invierno y alta en verano
- Nevadas en meses de diciembre, enero y febrero
- Orientación: Sudeste

Para determinar si es útil o no establecer paneles fotovoltaicos, se procede a analizar como afecta la nieve a los sistemas fotovoltaicos. El rendimiento de los paneles afectados por la nieve puede verse afectado de dos maneras distintas:

- Positivamente  
Si la nieve se acumula alrededor del panel, ayuda a que se refleje la luz del sol, impulsando la captación de radiación durante el invierno.<sup>14</sup>
- Negativamente  
Si la nieve se acumula sobre del panel, impide el paso de los rayos de sol.<sup>15</sup>

Para que el rendimiento fotovoltaico aumente con la nieve, es necesario colocar los paneles con una inclinación adecuada. De esta forma, la nieve resbalará, sin acumularse sobre ellas, al mismo tiempo que ayuda a limpiar los paneles solares. La suciedad se acumula sobre los sistemas fotovoltaicos se adhiere a la nieve, aumentando la eficiencia<sup>16</sup>. Consecuentemente, no sería necesario tener una persona de mantenimiento, suponiendo un ahorro de costes.

Por tanto, una analizados detalladamente el clima y ubicación, se decide el establecer los sistemas fotovoltaicos en el edificio de HERE. Estarán orientados al sur y colocados con la inclinación óptima, que se determinará más adelante, para aumentar la eficiencia y el rendimiento.

---

<sup>14</sup> (2021). *¿Cómo afecta la nieve a la producción de los paneles solares?* EiDF. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.eidsolar.es/como-afecta-la-nieve-a-la-produccion-de-los-paneles-solares/>

<sup>15</sup> (2021) *¿Cómo afecta la nieve a los paneles solares?* Univergy Solar. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.univergy.com/efectividad-paneles-solares-nieve/>

<sup>16</sup> (2021) *¿Cómo afecta la nieve a los paneles solares?* Cambio energético. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-afecta-nieve-paneles-solares/>

### 6.2.2. ANÁLISIS DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL EDIFICIO

Para llevar a cabo un análisis preciso y detallado del consumo eléctrico de HERE, se ha intentado contactar con los directivos del edificio con el objetivo de conseguir los datos del último año. No obstante, ha sido imposible conseguir dichos datos, por lo que suponiendo el consumo eléctrico medio anual de un estadounidense es de 10.715 kWh<sup>17</sup>, se ha desarrollado la siguiente estimación:

- Un total de 11 plantas con residencias (plantas 5 a la 15, ambas incluidas)
- Cada planta consta de 13 apartamentos:
  - 12 apartamentos de 4 personas
  - 1 apartamento de 2 personas

Realizando los cálculos pertinentes, número de residentes de HERE es el siguiente:

- $12 \times 4 + 1 \times 2 = 50$  residentes por planta
- $50 \times 11 = 550$  residentes en el edificio

Teniendo en cuenta el consumo medio, se obtiene el consumo total aproximado diario:

$$10.715 \frac{\text{kWh}}{\text{año} \times \text{residente}} \times 550 \text{ residentes} = 5.893.250 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

*Ecuación 6.4: Consumo eléctrico medio anual*

El consumo eléctrico anual es de aproximadamente 4.821.750 kWh. A continuación, se obtiene el consumo eléctrico diario:

$$5.893.250 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 16.146 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

*Ecuación 6.5: Consumo eléctrico medio diario*

Se obtiene un consumo eléctrico diario medio de 16.146 kWh.

<sup>17</sup> *Frequently Asked Questions (FAQs)* - U.S. Energy Information Administration (EIA). Obtenida el 18/05/2022 de <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3>

Para el posterior cálculo de la potencia total de la instalación, se calcula el consumo eléctrico medio por horas es:

$$16.146 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 673 \frac{\text{kWh}}{\text{hora}}$$

*Ecuación 6.6: Consumo eléctrico medio por horas*

Es necesario tener en cuenta el factor de simultaneidad, pues no todos los residentes utilizan todos los dispositivos eléctricos al mismo tiempo. El coeficiente de simultaneidad es el cociente que resulta de dividir la potencia eléctrica máxima que puede entregar una instalación eléctrica entre la suma de las potencias nominales de todos los receptores que pueden conectarse a ella<sup>18</sup>.

Por lo general, el coeficiente de simultaneidad oscila entre 0,6 y 0,8, alcanzando rara vez el valor de la unidad<sup>19</sup>. Por tanto, se va a emplear una media de estos valores:

$$\frac{0,6 + 0,8}{2} = 0,7$$

*Ecuación 6.7: Factor de simultaneidad de consumo eléctrico*

El consumo eléctrico medio por horas, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad, es:

$$673 \frac{\text{kWh}}{\text{hora}} \times 0,7 = 471 \frac{\text{kWh}}{\text{hora}}$$

Se obtiene un consumo eléctrico diario por horas de 471 kWh.

---

<sup>18</sup> Quintela, F.R. y Redondo Melchor, R.C. *Diccionario de Ingeniería Eléctrica*. Universidad de Salamanca. Obtenido el 18/05/2022 de <https://electricidad.usal.es/Diccionario>

<sup>19</sup> (2020). *Qué es el factor de simultaneidad y cómo calcularlo*. Endesa. Obtenido el 18/05/2022 de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/factor-simultaneidad-calculo>

### 6.2.3. ANÁLISIS DE HORAS DE SOL PICO

Las horas de sol pico (HSP) en una unidad de medida de irradiación (energía) suponiendo una radiación constante de 1000 W/m<sup>2</sup>. Se refiere a la energía recibida por una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> durante 1 hora. Este parámetro nos permite calcular de forma sencilla la energía recibida en un periodo de tiempo. Es una medida muy útil para realizar cálculos fotovoltaicos.<sup>20</sup>

A través de la página web *Footprint Hero* desarrollada por Alex Beale, que se define a sí mismo como un apasionado de los proyectos de energía solar, se puede obtener el valor de las horas de sol pico.<sup>21</sup> Para ello, es necesario introducir la siguiente información:

- *Código postal*  
En este caso, 61820, al tratarse de Champaign.
- *Ángulo de inclinación del panel solar* (grados respecto a la horizontal)  
Utiliza un valor por defecto de 0°
- *Ángulo de Acimut* (grados respecto al norte)  
Utiliza un valor por defecto de 180°, al estar orientado al sur

Suponiendo un valor de 0° de inclinación, se obtiene la siguiente información:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Horas	2,08	2,80	3,89	5,29	5,83	6,62	6,49	5,85	4,88	3,34	2,23	1,61

Tabla 6.3: Horas de sol pico por meses (Inclinación: 0°). Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero)

Calculando la media de horas de sol pico mensuales, se obtiene un valor de 4,24.

$$\frac{2,08 + 2,80 + 3,89 + 5,29 + 5,83 + 6,62 + 6,49 + 5,85 + 4,88 + 3,34 + 2,23 + 1,61}{12}$$

Ecuación 6.8: Media de horas de sol pico (Inclinación: 0°)

<sup>20</sup> (2022). *Horas de sol pico ¿Qué es y para qué sirve?* - HelioEsfera. Obtenido el 20/05/2022 de <https://www.helioesfera.com/horas-de-sol-pico-que-es-y-para-que-sirve/>

<sup>21</sup> Beale, A., (2022). *Peak Sun Hours Calculator*. Footprint Hero. Obtenido el 21/05/2022 de <https://footprinthero.com/peak-sun-hours-calculator>

La distribución de horas de sol pico mensual queda representada de la siguiente manera:

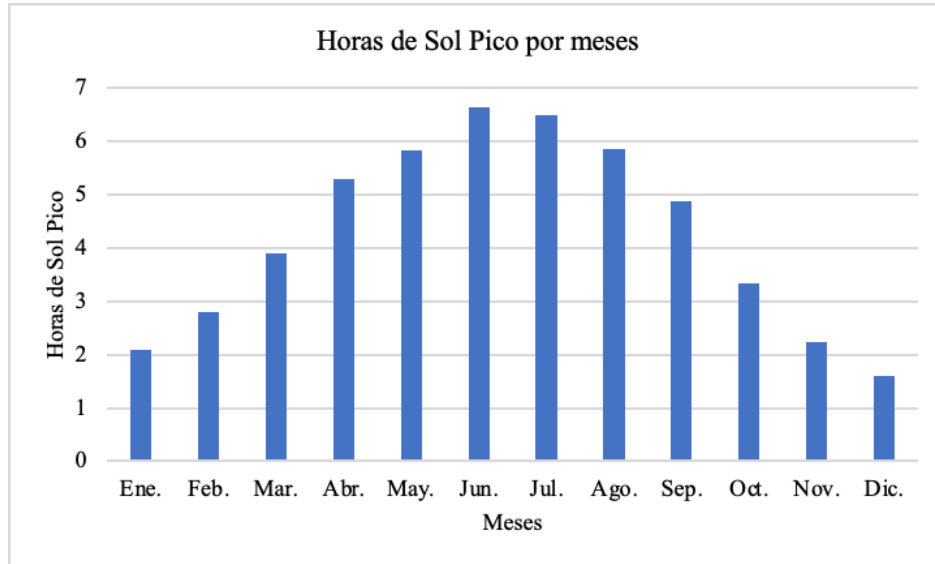


Ilustración 6.8: HSP por meses (Inclinación: 0°). Fuente: Elaboración propia

El factor clave para maximizar las horas pico es el ángulo de inclinación del panel. La tabla 6.2. recoge los datos de horas de sol pico para una inclinación de 0°. No obstante, resulta imprescindible calcular la inclinación óptima, par así optimizar las horas. En la misma página web Footprint Hero, existe la posibilidad de obtener el ángulo óptimo de inclinación.<sup>22</sup> Se obtiene la siguiente tabla:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ángulo	41,6°	36,6°	31,6°	26,6°	21,6°	16,6°	21,6°	26,6°	31,6°	36,6°	41,6°	46,6°

Tabla 6.4: Ángulo óptimo de inclinación por meses. Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero)

Calculando la media de ángulos óptimos de inclinación mensuales, se obtiene un valor de 31,6°.

$$\frac{41,6 + 36,6 + 31,6 + 26,6 + 21,6 + 16,6 + 21,6 + 26,6 + 31,6 + 36,6 + 41,6 + 46,6}{12}$$

Ecuación 6.9: Media de ángulo óptimo de inclinación

<sup>22</sup> Beale, A., (2022). *Solar Panel Tilt Angle Calculator*. Footprint Hero. Obtenido el 21/05/2022 de <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>

Una vez determinado el valor que maximiza las horas de sol pico, se repite el proceso anterior, cambiando únicamente el valor la inclinación:

- *Ángulo de inclinación del panel solar* (grados respecto a la horizontal): 31,6°

Se obtiene la siguiente información:

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Horas	3,44	4,05	4,77	5,79	5,72	6,21	6,29	6,17	5,86	4,65	3,69	2,76

Tabla 6.5: Horas de sol pico por meses (Inclinación: 31,6°). Fuente: Elaboración propia (con datos de Footprint Hero)

Calculando la media de horas de sol pico mensuales, se obtiene un valor de 4,95°.

$$\frac{3,44 + 4,05 + 4,77 + 5,70 + 5,72 + 6,21 + 6,29 + 6,17 + 5,86 + 4,65 + 3,69 + 2,76}{12}$$

Ecuación 6.10: Media de horas de sol pico (Inclinación: 31,6°)

En este caso, la distribución de horas de sol pico mensual es la siguiente:

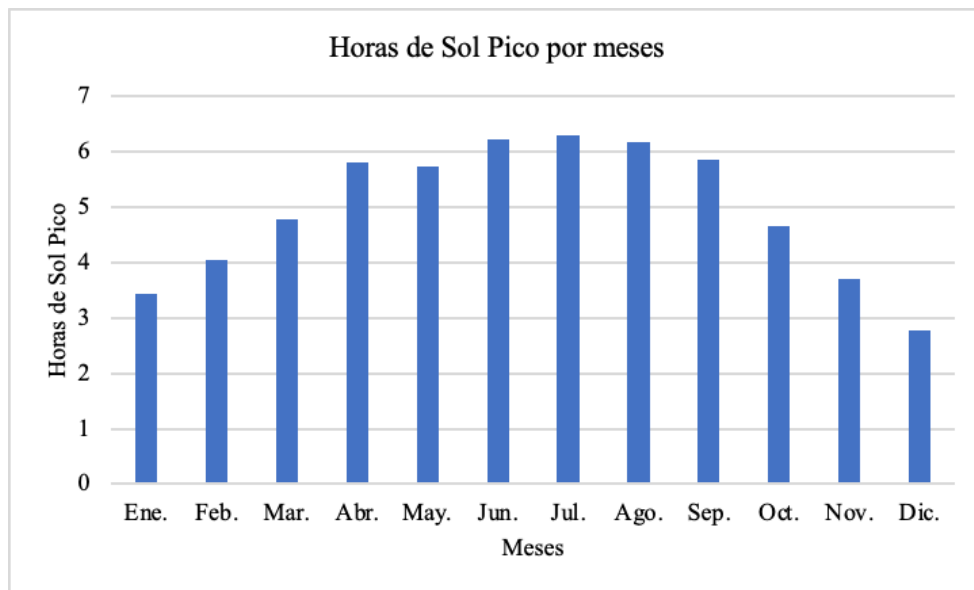


Ilustración 6.9: HSP por meses (Inclinación: 31,6°). Fuente: Elaboración propia



Por último, para concluir el análisis de las horas de sol pico, se procede a evaluar de manera gráfica la diferencia existente entre el ángulo de inclinación de 0° y el ángulo de inclinación de 31,6°.

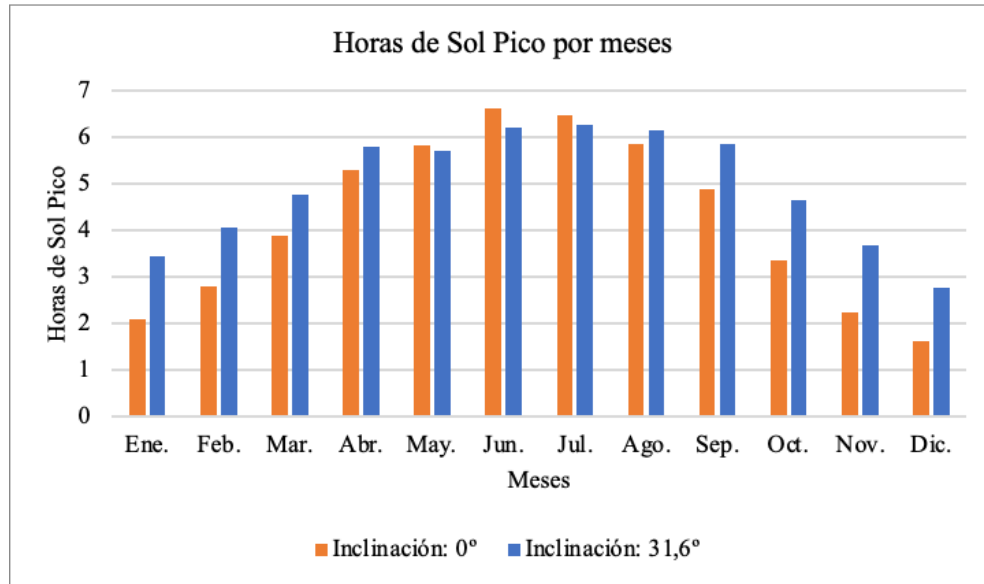


Ilustración 6.10:HSP comparativa. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar como, únicamente, las horas de sol pico son superiores para una inclinación de 0° en los meses más calurosos (mayo, junio y julio). Por tanto, se puede concluir que el estudio que se ha realizado del ángulo era pertinente y necesario, pasando de una media de 4,24 a 4,95.

#### 6.2.4. CÁLCULO DE POTENCIA DE LA INSTALACIÓN

Una vez obtenidos el consumo eléctrico diario del edificio y la media de horas de sol pico, se procede a calcular la potencia de la instalación mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\text{Consumo eléctrico diario}}{\text{HSP}}$$

Ecuación 6.11: Potencia de la instalación

- Consumo eléctrico diario: 471 kWh.
- HSP: 4,94 horas

Sustituyendo numéricamente los valores calculados anteriormente, se obtiene el siguiente valor de potencia total:

$$P = \frac{471 \text{ kWh}}{4,94 \text{ h}} = 95 \text{ kW}$$

*Ecuación 6.12: Potencia de la instalación con valores numéricos*

### **6.2.5. INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS**

Para llevar a cabo la instalación, es necesario establecer el número de paneles fotovoltaicos necesarios para conseguir la potencia total necesaria de HERE.

$$\text{nº paneles} = \frac{\text{Potencia total}}{\text{Potencia generada por cada panel}}$$

*Ecuación 6.13: Número de paneles fotovoltaicos*

Teniendo en cuenta que cada panel aporta una media de 500 W cada hora y que la potencia total que requiere la residencia es de 78 kW, se procede a calcular el número total de paneles:

$$\text{nº paneles} = \frac{95 \text{ kW}}{\frac{0,5 \text{ kW}}{\text{panel}}} = 190 \text{ paneles}$$

*Ecuación 6.14: Número de paneles fotovoltaicos con valores sustituidos*

Como comprobación, se sabe que el área media que ocupa cada panel es de 1,5 metros<sup>2</sup>. Por tanto, el área total que ocupan los paneles es:

$$\text{Área paneles} = 190 \text{ paneles} \times \frac{1,5 \text{ m}^2}{\text{panel}} = 285 \text{ m}^2$$

*Ecuación 6.15: Área total que ocupan los paneles*

La superficie de la que se dispone es de 2.350 m<sup>2</sup>, superior al área que ocupan los paneles.

## 7. CONSUMO DE AGUA DEL EDIFICIO

### 7.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA

Al igual que para el análisis del consumo eléctrico de HERE, se va a llevar a cabo una estimación de los datos. El número de residentes ha obtenido anteriormente (apartado 6.2), alcanzando un número aproximado de 450 personas.

Para calcular la estimación de consumo de agua, se ha recopilado la siguiente información<sup>23</sup>: la media de consumo es 101,5 galones por persona y por día. Dividido, entre otros, en:

- Bañera: 36 galones
- Inodoro: 3 galones por cada vez que se tira de la cisterna
- Ducha: 2 galones por cada minuto de ducha

Teniendo en cuenta el consumo medio de 101,5 galones/día, se obtiene el consumo total diario:

$$1 \text{ galón} = 3,78541 \text{ L}$$

*Ecuación 7.1: Conversión de galones a L*

$$101,5 \frac{\text{galones}}{\text{día} \times \text{residente}} \times \frac{3,7841 \text{ L}}{1 \text{ galón}} \times 550 \text{ residentes} = 211.247 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

*Ecuación 7.2: Consumo de agua medio diario*

Esto implica que el consumo total aproximado anual es:

$$211.247 \frac{\text{L}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 77.105.295 \frac{\text{L}}{\text{año}}$$

*Ecuación 7.3: Consumo de agua medio anual*

---

<sup>23</sup> (2021). *Gallons Used Per Person Per Day*. Water.Phila.Org. Obtenida el 25/05/2022 de <https://water.phila.gov/pool/files/home-water-use-ig5.pdf>

El gráfico circular que se muestra en la Ilustración 7.1 representa el consumo de agua en EE.UU. en 2016. En él, se puede observar que el mayor consumo es el inodoro (24%), seguido de la ducha (20%). Teniendo esto en cuenta, se procede a analizar y diseñar dos sistemas, uno de doble pulsación de cisternas y otro de regulación de la cantidad de agua de ducha, con la finalidad de ahorrar agua.

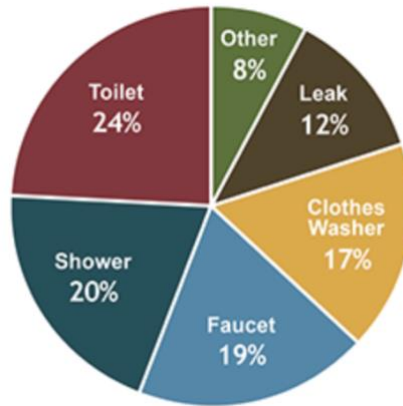


Ilustración 7.1: Gráfico de consumo de agua en EE.UU. en 2016. Fuente: US EPA, 2022<sup>24</sup>

## 7.2. SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN DE CISTERNAS

Como se puede observar en el gráfico anterior (*Ilustración 7.1.*), el consumo de agua es mayor en inodoros. Se sabe que un inodoro en Estados Unidos gasta alrededor de 4 galones cada vez que una persona tira de la cadena, se consume una media de:

$$3 \text{ galones} \times \frac{3,7841 \text{ L}}{1 \text{ galón}} = 11,3523 \text{ L}$$

Ecuación 7.4: Consumo de agua en inodoro

Con el objetivo de reducir el consumo de agua en los inodoros, se procede a plantear la posible sustitución de la cisterna actual por un sistema de doble pulsación.

<sup>24</sup> (2022). *How We Use Water*. US EPA. Obtenido el 25/05/2022 de <https://www.epa.gov/watersense/how-we-use-water#:~:text=The%20average%20American%20family%20uses,of%20this%20use%20occurs%20indoors.>

### **7.2.1. INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de doble pulsación de cisternas, también conocidas como cisternas de doble descarga, permiten dos tipos de descarga: parcial (3 litros) o total (6 litros).<sup>25</sup> La principal diferencia entre los inodoros tradicionales de una descarga y los de doble descarga es que los de una descarga utilizan un sistema de sifón a presión para eliminar los residuos, mientras que los de doble descarga están diseñados para utilizar la gravedad. El uso de este tipo de cisternas supone dos beneficios principales, el primero es el impacto medioambiental y el segundo el ahorro de costes.<sup>26</sup>

#### **Impacto medioambiental**

El inodoro de doble descarga consta de un mecanismo de dos ajustes, generalmente un botón, que permite realizar una descarga de bajo volumen o una descarga de alto volumen. Las descargas de bajo volumen están diseñadas para los residuos líquidos, mientras que las de alto volumen están diseñadas para los residuos sólidos. El sistema de doble pulsación permite reducir el consumo de agua cuando se realiza una descarga de bajo volumen.

#### **Ahorro de costes**

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) estima que se pueden ahorrar 4.000 galones de agua al año en los hogares que utilizan inodoros de doble descarga.

### **7.2.2. COMPARATIVA CON INODORO AMERICANO**

Tal y como se ha comentado anteriormente, los sistemas tradicionales americanos constan de una única palanca, capaz de generar el efecto sifón gastando en torno a 11,35L cada vez que se ejerce presión sobre la misma.

A continuación, se muestran dos imágenes, la primera representa el inodoro típico americano y la segunda el inodoro con sistema de doble pulsación.

---

<sup>25</sup> González, N. (2022). *¿Qué son las cisternas de doble descarga?* Leroy Merlin. Obtenido el 05/06/2022 de <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Fontaner%C3%ADa/Qu%C3%A9-son-las-cisternas-de-doble-descarga/ta-p/11574>

<sup>26</sup>(2021). *Are dual flush toilets worth the trouble?* Dauenhauer. Obtenido el 05/06/2022 de <https://dauenhauerplumbing.com/2018/04/11/are-dual-flush-toilets-worth-the-trouble/>



Ilustración 7.2: Inodoro americano. Fuente: American Standard<sup>27</sup> Ilustración 7.3: Inodoro doble pulsación. Fuente: ROCA<sup>28</sup>

Se puede observar que aparentemente el diseño es similar. Es más, se puede estimar el volumen que ocupa cada uno de la siguiente forma:

#### **Inodoro americano**

- Ancho: 45,085 cm
- Alto: 75,565 cm
- Fondo: 74,93 cm

$$\text{Volumen} = 45,085 \text{ cm} \times 75,565 \text{ cm} \times 74,93 \text{ cm} = 255.275 \text{ cm}^3$$

*Ecuación 7.5: Volumen inodoro americano*

#### **Inodoro doble pulsación**

- Ancho: 40,5 cm
- Alto: 76 cm
- Fondo: 60 cm

$$\text{Volumen} = 40,5 \text{ cm} \times 76 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} = 184.680 \text{ cm}^3$$

*Ecuación 7.6: Volumen inodoro doble pulsación*

---

<sup>27</sup> American Standard. (2021). *Inodoro de una sola pieza Champion-4*. Amazon. Obtenido el 10/06/2022 de <https://www.amazon.com/-/es/Inodoro-Champion-4-American-Standard-2034314-020/dp/B01BNVDQDC?th=1>

<sup>28</sup> ROCA. (2021). *Pack WC ROCA Eos con tapa amortiguada*. Leroy Merlín. Obtenido el 10/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/fp/16859283/pack-wc-roca-eos-con-tapa-amortiguada>

Analizando ambos volúmenes, se puede ver que la única ventaja que ofrece el sistema de doble pulsación no es solo el ahorro energético, sino que los diseños son más compactos, aportando a los residentes mayor espacio en su cuarto de aseo personal.

### 7.2.3. *FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN*



Para entender como funciona el sistema de doble pulsación, se van a adjuntar a continuación un conjunto de imágenes extraídas de un vídeo explicativo de Roca<sup>29</sup>. A través de ellas, será más fácil analizar y comprender el funcionamiento.

La imagen de la izquierda representa el descargador de cisterna con doble pulsador, el cuál se introduce dentro de la parte superior del inodoro.

Previamente a introducir el descargador, es necesario seguir lo siguientes pasos:

1. Medir la altura de la parte superior del inodoro. La determinación de dicha altura será necesaria para continuar con los siguientes pasos.



*Ilustración 7.2: Medida de altura del inodoro. Fuente: Vídeo de Roca*

---

<sup>29</sup> ROCA. (2022). *Mecanismo de doble descarga PLUS con dos pulsadores - Cambio del mecanismo Roca*. Roca. Obtenido el 10/06/2022 de [https://www.youtube.com/watch?v=Aidu1dEJwoA&ab\\_channel=RocaPro](https://www.youtube.com/watch?v=Aidu1dEJwoA&ab_channel=RocaPro)

2. La medida tomada se anotará y se situará en el intervalo asociado. En función del número al que pertenezca la medida, la palanca azul se situará en una posición u otra, yendo del 1 al 8.



Ilustración 7.3: Colocación de palanca en función de altura. Fuente: Vídeo de Roca

3. Por último, se ajustan automáticamente los tanques, tanto lleno como semi-lleño, en función de la medida de altura tomada en el paso 1.



Ilustración 7.4: Tanques del descargador de la cisterna. Fuente: Vídeo de Roca

Siguiendo detalladamente los pasos, resulta un proceso sencillo. La instalación del descargador, en caso de tener alguna avería, se puede llevar a cabo fácilmente por personal no especializado. Esto es un punto a favor, pues es útil para el personal de la residencia de HERE.



#### 7.2.4. AHORRO DE AGUA CON SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN

Para calcular el ahorro de agua que supone el nuevo sistema, es necesario realizar una serie de cálculos. El primero, calcular el número de inodoros totales de la residencia:

- Planta 1, 2 y 4: 2 inodoros
- Plantas 5 – 15:
  - 9 apartamentos con 4 baños cada uno
  - 4 apartamentos con 2 baños cada uno

$$n^{\circ} \text{ inodoros} = 2 + 2 + 2 + (9 \times 4 + 4 \times 2) \times 11 = 490$$

*Ecuación 7.7: Número total de inodoros en HERE*

Teniendo en cuenta el número de inodoros, se calcula el consumo de agua para un inodoro americano y para un inodoro con sistema de doble pulsación, y posteriormente, la diferencia.

##### **Inodoro americano**

$$11,35 \frac{\text{L}}{\text{inodoro}} \times 490 \text{ inodoros} = 5.562 \text{ L}$$

*Ecuación 7.8: Consumo total inodoro americano*

##### **Inodoro de doble pulsación**

$$4,5^{30} \frac{\text{L}}{\text{inodoro}} \times 490 \text{ inodoros} = 2.205 \text{ L}$$

*Ecuación 7.9: Consumo total inodoro doble pulsación*

##### **Diferencia**

$$5.562 \text{ L} - 2.205 \text{ L} = 3.357 \text{ L}$$

*Ecuación 7.10: Diferencia entre consumos de inodoros*

La diferencia total entre un sistema y otro es abismal, y el ahorro, consecuentemente, también.

---

<sup>30</sup> Suponiendo que el pulsador pequeño consume 3L y el grande 6L, la media entre ambos es 4,5 L.

### 7.3. SISTEMA DE REGULACIÓN DE AGUA DE DUCHAS

De acuerdo con la información obtenida de *Water.Phila.Org*, las bañeras consumen una media de 36 galones y las duchas 2 galones por cada minuto de ducha. Los cuartos de baño de HERE, residencia de estudio, solo constan de duchas. Por tanto, el objetivo de ahorro de agua en este caso consiste en cambiar el tipo de grifo de ducha. A día de hoy, el consumo medio de agua en la ducha, teniendo en cuenta que el tiempo aproximado en la ducha es de 10 minutos<sup>31</sup>, es el siguiente:

$$\frac{2 \text{ galones}}{\text{minuto}} \times \frac{3,7841 \text{ L}}{1 \text{ galón}} \times 10 \text{ minutos} = 75,7 \text{ L}$$

*Ecuación 7.11: Consumo de agua en duchas*

Para frenar el consumo excesivo de agua, se plantea el cambio del grifo típico americano, capaz de regular únicamente la temperatura, por un grifo que pueda regular tanto la temperatura como la cantidad de agua. Como alternativa, se plantean dos opciones: grifo monomando (o clásico) o grifo termostático.

#### 7.3.1. GRIFO MONOMANDO VS. GRIFO TERMOSTÁTICO

Antes de elegir entre grifo monomando o grifo termostático, se procede a analizar las principales características de cada uno, reflejándolo en una tabla de forma que sea más sencilla y visual la comparación.

	<b>MONOMANDO</b>	<b>TERMOSTÁTICO</b>
<b>Funcionamiento</b>	Mismo control de temperatura y caudal	Diferente control de temperatura y caudal
<b>Temperatura</b>	Temperatura aumenta de forma gradual	Temperatura programa constante
<b>Precio instalación</b>	Más económico y fácil de instalar	Precio más elevado

*Tabla 7.1: Grifo monomando vs. Grifo termostático. Fuente: Cronoshare<sup>32</sup>*

<sup>31</sup>(2022). *¿Cuánto debe durar una ducha?* Hogarmania: Prevención y cuidados. Obtenido el 12/06/2022 de <https://www.hogarmania.com/salud/salud-familiar/prevencion-cuidados/cuanto-debe-durar-ducha.html>

<sup>32</sup>(2022). *¿Qué es mejor: un grifo termostático o monomando?* Cronoshare. Obtenido el 12/06/2022 de <https://www.cronoshare.com/comunidad/comparativas/grifo-termostatico-monomando>

Analizando las características mostradas en la Tabla 7.1., se procede a la elección del grifo. A simple es vista, es difícil decidir. Por ello, es necesario llevar a cabo un análisis del coste del ciclo de vida de ambos, con vista a 10 años, para ver cual de los dos sale más rentable.

El coste de ciclo de vida se calcula de la siguiente forma<sup>33</sup>:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{amb} + C_d$$

*Ecuación 7.12: Coste de Ciclo de Vida*

- $C_{ic}$  = Coste inicial, coste de compra
- $C_{in}$  = Coste de instalación y puesta en marcha
- $C_e$  = Coste energético
- $C_o$  = Coste de operación (supervisión regular del sistema)
- $C_m$  = Coste de mantenimiento
- $C_s$  = Coste de tiempo de tiempo de avería, pérdida de producción
- $C_{amb}$  = Coste medioambiental
- $C_d$  = Coste de retirada definitiva

Teniendo en cuenta que ambos grifos, monomando y termostático, tienen el mismo coste de instalación y puesta en marcha ( $C_{in}$ ), coste de operación ( $C_o$ ), coste de tiempo de avería ( $C_s$ ) y coste de retirada definitiva ( $C_d$ ), la ecuación del coste de ciclo de vida se reduce a la siguiente:

$$LCC = C_{ic} + C_e + C_m + C_{amb}$$

*Ecuación 7.13: Coste de Ciclo de Vida simplificado*

El siguiente paso consiste en determinar los costes en los que difieren cada uno. Para ello, se lleva a cabo un estudio de mercado y se recopila la información obtenida, comparando los resultados obtenidos para tomar la decisión final.

---

<sup>33</sup> Sanz Fernandez, I. (2003). *El coste de ciclo de vida en las bombas*

La información obtenida se recoge en la siguiente tabla:

	$C_{ic}^{34}$	$C_e^{35}$	$C_m^{36}$	Camb
<b>Monomando</b>	60 €	150 €	110 €	100 €
<b>Termostático</b>	170 €	0 €	230 €	0 €

Tabla 7.2: Costes: monomando y termostático. Fuente: Elaboración propia

El coste energético se calcula suponiendo que el ahorro de agua con el grifo termostático frente al monomando es de 15€ aproximadamente. Suponiendo que los costes indicados son a 10 años vistos, se obtiene un coste de grifo monomando de  $15 \times 10 = 150$  €.

El coste medioambiental se calcula suponiendo que el impacto medioambiental del grifo termostático es inferior al monomando. Esto supone un ahorro económico de 10 € anuales. Consecuentemente, en 10 años, el coste del monomando será de  $10 \times 10 = 100$  €.

### Grifo monomando

$$LCC = 60 + 150 + 110 + 100 = 420 \text{ €}$$

Ecuación 7.14: Coste de Ciclo de Vida – Grifo monomando

### Grifo termostático

$$LCC = 170 + 0 + 230 + 0 = 400 \text{ €}$$

Ecuación 7.15: Coste de Ciclo de Vida – Grifo termostático

La diferencia del coste de ciclo de vida entre ambos es muy pequeña. No obstante, al ser inferior el grifo termostático, a la vez que más amigable con el medioambiente, la decisión final es el grifo termostático.

<sup>34</sup> Grifos de ducha. Leroy Merlin. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/banos/griferia-de-bano/grifos-ducha>

<sup>35</sup> (2022). *Cómo ahorrar energía con los grifos termostáticos*. EnergyGO. Obtenido el 13/06/2022 de <https://blog.energygo.es/como-ahorrar-energia-con-los-grifos-termostaticos/>

<sup>36</sup> *Cambiar fontanería - Cambiar grifo: Precio y Presupuesto*. Habitissimo. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.habitissimo.es/presupuestos/cambiar-grifo>

### 7.3.2. AHORRO DE AGUA CON GRIFO TERMOSTÁTICO

Para calcular el ahorro de agua que supone el nuevo grifo, es necesario realizar una serie de cálculos. El primero, calcular el número de duchas totales de la residencia:

- Plantas 5 – 15:
  - 9 apartamentos con 4 baños cada uno
  - 4 apartamentos con 2 baños cada uno

$$n^{\circ} \text{ duchas} = (9 \times 4 + 4 \times 2) \times 11 = 484$$

*Ecuación 7.16: Número total de duchas en HERE*

Teniendo en cuenta el número de duchas, se calcula el consumo de agua con un grifo americano y con un grifo termostático, y posteriormente, la diferencia.

#### Grifo de ducha americano

$$75,7 \frac{\text{L}}{\text{ducha}} \times 484 \text{ duchas} = 36.639 \text{ L}$$

*Ecuación 7.17: Consumo total ducha - grifo americano*

#### Grifo de ducha termostático

$$63,7^{37} \frac{\text{L}}{\text{ducha}} \times 484 \text{ duchas} = 30.831 \text{ L}$$

*Ecuación 7.18: Consumo total ducha - grifo termostático*

#### Diferencia

$$36.639 \text{ L} - 30.831 \text{ L} = 5.808 \text{ L}$$

*Ecuación 7.19: Diferencia entre consumos de duchas*

La diferencia total entre un sistema y otro es considerable.

---

<sup>37</sup> (2022). ¿Cómo ahorrar electricidad con grifos termostáticos? Endesa. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/climatizacion/ahorrar-electricidad-grifos-termostaticos#:~:text=Sin%20embargo%2C%20con%20grifos%20termost%C3%A1ticos.litros%20de%20agua%20por%20ducha.>

## 8. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

### 8.1. SENSORES DE MOVIMIENTO

Tras el análisis del tipo de sensor a emplear y el número total de sensores que requiere la residencia, se procede a realizar el análisis económico. La implantación de los sensores de movimiento conlleva dos costes: el de los sensores y el de su instalación en cada punto escogido.

#### Coste de los sensores

De acuerdo con el cálculo realizado en el *Apartado 6.1.5.*, se sabe que el número total de sensores a colocar es 38. No obstante, se debe tener en cuenta que es probable que alguno de los sensores falle, lo cual implica que habría que comprar más por si esto ocurre. Por ello, se estima una compra de 50 sensores.

Para calcular una estimación del precio medio de cada sensor, se ha realizado un estudio de mercado. Tomando como referencia efectoLED<sup>38</sup>, empresa líder europea en iluminación LED, se obtiene que el precio medio es de 10,45€.

Se realiza la conversión de euros a dólares, al encontrarse el edificio en Estados Unidos:

$$10,45 \text{ €} \times \frac{\$ 1,05}{1 \text{ €}} = \$ 11$$

*Ecuación 8.1: Conversión coste de sensor: euros a dólares*

El coste de los sensores es:

$$50 \text{ sensores} \times \frac{\$ 11}{\text{sensor}} = \$ 550$$

*Ecuación 8.2: Coste de los sensores*

---

<sup>38</sup> Luz LED con Sensor Movimiento – Detector de Movimiento PIR 180° Superficie. EfectoLED. Obtenida el 20/06/2022 de <https://www.efectoled.com/es/?search&query=sensor-movimiento-pir>

### Coste de la instalación

A este coste de los sensores, habría que añadir el coste de la instalación. Para ello, el primer paso es determinar el sueldo de un electricista en Champaign, Illinois. De acuerdo con Indeed<sup>39</sup>, el salario promedio es de \$28/hora.

Teniendo en cuenta que la estimación de tiempo medio por sensor es de 75 minutos, el coste de la instalación es:

$$\frac{\$ 28}{\text{hora}} \times \frac{75 \text{ min}}{\text{sensor}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \times 38 \text{ sensores} = \$ 1.330$$

*Ecuación 8.3: Coste de la instalación*

### Coste total: sensores + instalación

Por tanto, el coste total, que incluye el coste de los sensores y el coste de la instalación es:

$$\$ 550 + \$1.330 = \$1.880$$

*Ecuación 8.4: Coste total de los sensores PIR*

## 8.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La implantación de los sistemas fotovoltaicos conlleva dos costes: el coste de los paneles y el de su instalación.

### Coste de los sistemas fotovoltaicos

Para determinar el coste de los paneles, se ha llevado a cabo un estudio de mercado en Champaign, Illinois. El coste de los sistemas fotovoltaicos depende de la potencia necesaria. Tal y como se ha calculado previamente, se conoce la potencia total del edificio: 78 kW.

---

<sup>39</sup> *What is the salary of an Electrician in Illinois?* Indeed. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.indeed.com/career/electrician/salaries/IL>

Tamaño del sistema	Coste del sistema	Coste de sistema (tras ITC)
3 kW	\$ 9.060	\$6.704
4 kW	\$ 12.080	\$ 8.939
5 kW	\$ 15.100	\$ 11.174
6 kW	\$ 18.120	\$ 13.409
7 kW	\$ 21.140	\$ 15.664
8 kW	\$ 24.160	\$ 17.878
9 kW	\$ 27.180	\$ 20.113
10 kW	\$ 30.200	\$ 22.348

Tabla 8.1: Coste medio paneles solares por tamaño en Champaign, IL. Fuente: Energy Sage<sup>40</sup>

La tabla mostrada recoge valores hasta un tamaño de 10 kW. El sistema que necesita HERE es de 78 kW. Por tanto, es necesario realizar el cálculo. Teniendo en cuenta que el precio en función del tamaño es de \$3,02/W.

El coste del sistema es:

$$\frac{\$ 3,02}{W} \times \frac{1000 W}{1 kW} \times 78 kW = \$ 235.560$$

Ecuación 8.5: Coste de sistemas fotovoltaicos sin incentivos

A continuación, se calcula el coste de los sistemas fotovoltaicos teniendo en cuenta los incentivos. El gobierno americano otorga 26% de crédito fiscal a la inversión (ITC) y otros incentivos solares estatales y locales. El coste del sistema con ITC es:

$$\$ 235.560 \times (1 - 26\%) = \$ 174.314$$

Ecuación 8.6: Coste de sistemas fotovoltaicos con incentivos

<sup>40</sup> How much do solar panels cost in Champaign, IL in 2022? Energy Sage. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.energysage.com/local-data/solar-panel-cost/il/champaign-county/champaign/#:~:text=As%20of%20June%202022%2C%20the,IL%20coming%20in%20at%20%2415%2C100>



### Coste de instalación

A este coste de los sistemas solares, hay que añadir el coste de la instalación. De acuerdo con Inside<sup>41</sup>, el precio medio por horas es de \$21,99.

Teniendo en cuenta que una instalación de 156 paneles necesita por lo menos 7 días de trabajo<sup>42</sup> (10 horas cada día), el coste de la instalación es el siguiente:

$$\frac{\$ 21,99}{\text{hora}} \times \frac{10 \text{ horas}}{\text{día}} \times 7 \text{ días} = \$ 1.540$$

*Ecuación 8.7: Coste de instalación de sistemas fotovoltaicos*

### Coste total: sistemas fotovoltaicos + instalación

Por tanto, el coste total, que incluye el coste de los sistemas fotovoltaicos y el coste de la instalación es:

$$\$ 174.314 + \$ 1.540 = \$ 175.854$$

*Ecuación 8.8: Coste total de sistemas fotovoltaicos*

---

<sup>41</sup> *What is the salary of an Solar Panel Installer in Illinois?* Indeed. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.indeed.com/career/solar-installer/salaries>

<sup>42</sup> *How Much Do Solar Panels Cost? (2022 Guide)* This Old House. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.thisoldhouse.com/solar-alternative-energy/reviews/solar-panel-cost>

### 8.3. SISTEMA DE DOBLE PULSACIÓN DE CISTERNAS

La implantación de los inodoros de doble pulsación de cisternas conlleva dos costes: el de los inodoros y el de su instalación en cada baño.

#### Coste de los inodoros

De acuerdo con el cálculo realizado en el *Apartado 7.2.4 (Ecuación 7.7.)*, se sabe que el número total de inodoros en HERE es de 490. Realizando un estudio de mercado, se ha realizado una estimación del precio medio de un inodoro con sistema de doble pulsación. Tomando como referencia Roca<sup>43</sup>, líder mundial en cuartos de baño, se obtiene que el precio medio es de 300 €.

Se realiza la conversión de euros a dólares, al encontrarse el edificio en Estados Unidos:

$$300 \text{ €} \times \frac{\$ 1,05}{1 \text{ €}} = \$ 315$$

*Ecuación 8.9: Conversión coste de inodoro: euros a dólares*

El coste de los inodoros es:

$$490 \text{ inodoros} \times \frac{\$ 325}{\text{inodoro}} = \$ 159.250$$

*Ecuación 8.10: Coste de los inodoros*

#### Coste de la instalación

Al coste de los inodoros, habría que añadir el coste de la instalación. En el proceso de la instalación, hay que tener en cuenta el coste que supone retirar el inodoro antiguo. De acuerdo con HomeGuide<sup>44</sup>, guía que ayuda a determinar precios de labores de hogar, un fontanero cobra entre 30 y 50 dólares por retirar su viejo inodoro, es decir, una media de 40 dólares.

<sup>43</sup> Pack WC ROCA Eos con tapa amortiguada. Leroy Merlin. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/fp/16859283/pack-wc-roca-eos-con-tapa-amortiguada>

<sup>44</sup> How much will your toilet install cost? HomeGuide. Obtenido el 20/06/2022 de <https://homeguide.com/costs/toilet-installation-cost#:~:text=On%20average%2C%20a%20standard%20toilet,estimates%20from%20plumbers%20near%20you.>

A esto, hay que añadir la mano de obra de la instalación, cuyo precio puede oscilar entre \$120 y \$230, por inodoro. Realizando una media de ambos valores, se obtiene el precio promedio:

$$\text{Precio promedio} = \frac{\$120 + \$230}{2} = \$175$$

*Ecuación 8.11: Precio promedio de instalación de un inodoro*

Teniendo en cuenta que HERE consta de 490 inodoros, el coste de la instalación es:

$$\left( \frac{\$ 175}{\text{inodoro}} + \frac{\$ 40}{\text{inodoro}} \right) \times 490 \text{ inodoros} = \$ 105.350$$

*Ecuación 8.12: Coste de la instalación de los inodoros*

#### **Coste total: inodoros + instalación**

Por tanto, el coste total, que incluye el coste de los inodoros y el coste de la instalación es:

$$\$159.250 + \$105.350 = \$264.600$$

*Ecuación 8.13: Coste total de los inodoros*

## **8.4. SISTEMA DE REGULACIÓN DE DUCHAS**

La implantación de los grifos termostáticos en las duchas conlleva dos costes: el de los grifos y el de su instalación en cada ducha.

#### **Coste de los grifos**

Tras haber realizado la comparación entre los grifos termostáticos y los grifos monomando, se realizó un estudio de mercado, concretamente en la web de Leroy Merlin. A pesar de que el coste inicial del monomando era inferior, la elección fue el grifo termostático. El precio medio obtenido de cada grifo es de 170€.

Se realiza la conversión de euros a dólares, al encontrarse el edificio en Estados Unidos:

$$170 \text{ €} \times \frac{\$ 1,05}{1 \text{ €}} = \$ 178,5$$

*Ecuación 8.14: Conversión coste de grifo: euros a dólares*

El coste de los grifos es:

$$484 \text{ grifos} \times \frac{\$ 178,5}{\text{grifo}} = \$ 86.394$$

*Ecuación 8.15: Coste de los grifos*

### **Coste de la instalación**

A este coste de los grifos, habría que añadir el coste de la instalación. La página web de Porch<sup>45</sup> ofrece una opción de cálculo de costes en función de la ubicación (introduciendo el código postal).

El coste por grifo incluye:

- Mano de obra de la grifería de ducha, básica  
Coste de la mano de obra, en condiciones típicas, para la instalación completa. El grifo será montado, colocado y asegurado.

$$\text{Coste} = \frac{\$ 306 + \$ 253}{2} = \$ 279,5$$

- Suministros para el trabajo de grifería de ducha  
Suministros necesarios para el trabajo, incluyendo conectores, accesorios y herrajes de montaje.

$$\text{Coste} = \$ 6,5$$

---

<sup>45</sup> *How Much Does It Cost To Install A Shower Faucet?* Porch. Obtenido el 06/07/2022 de <https://porch.com/project-cost/cost-to-install-a-shower-faucet>

- Eliminación de los restos de la grifería de la ducha  
Eliminación responsable de todos los escombros del proyecto, incluidos los costes de carga y transporte de los materiales antiguos y los residuos de la instalación

$$\text{Coste} = \$ 2$$

El coste total por ducha es:

$$\text{Coste} = \$ 279,5 + \$ 6,5 + \$ 2 = \$ 288$$

*Ecuación 8.16: Coste de instalación de un único grifo*

El coste total, teniendo en cuenta las 484 duchas, es:

$$\text{Coste} = \frac{\$ 288}{\text{grifo}} \times 484 \text{ grifos} = \$ 139.392$$

*Ecuación 8.17: Coste de la instalación de los grifos*

### **Coste total: sensores + instalación**

Por tanto, el coste total, que incluye el coste de los sensores y el coste de la instalación es:

$$\$86.394 + \$139.392 = \$ 255.786$$

*Ecuación 8.18: Coste total de los grifos termostáticos*

## **8.5. ANÁLISIS ECONÓMICO TOTAL**

Por último, se procede al análisis económico total, que se desglosa en la suma de los costes de totales de cada modificación, más los costes que suponen las horas de trabajo empleada para llevar a cabo este proyecto: horas empleadas por la persona que ha llevado a cabo el proyecto (ingeniera recién graduada) y las horas empleadas por el tutor del proyecto (ingeniero senior).

En esta tabla, se recogen los cálculos realizados en los análisis económicos independientes:

	<b>Coste de compra</b>	<b>Coste de instalación</b>	<b>Coste total</b>
<b>Sensores PIR</b>	\$ 550	\$ 1.330	\$ 1.880
<b>Sistema fotovoltaico</b>	\$ 174.314	\$ 1.540	\$ 175.854
<b>Cisternas</b>	\$ 159.250	\$ 105.350	\$ 264.600
<b>Grifos de duchas</b>	\$ 86.394	\$ 139.392	\$ 225.786

Tabla 8.2: Desglose de coste total. Fuente: Elaboración propia

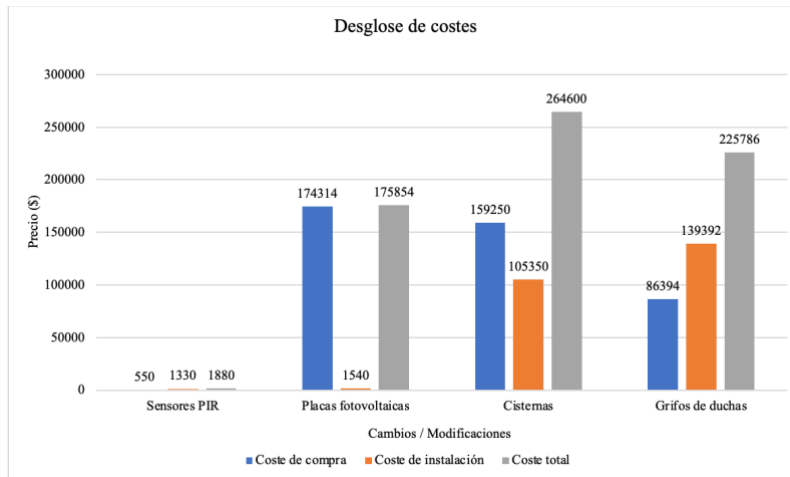


Ilustración 8.1: Gráfico de barras de desglose de costes. Fuente: Elaboración propia

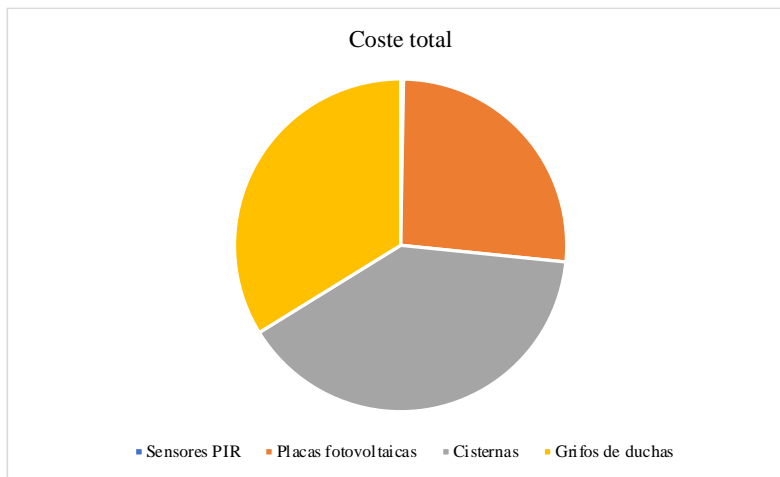


Ilustración 8.2: Gráfico de sectores de desglose de costes. Fuente: Elaboración propia

El coste total de las cuatro modificaciones es:

$$\text{Coste} = \$ 1.880 + \$ 175.854 + \$ 264.600 + \$ 255.786 = \$ 698.120$$

*Ecuación 8.19: Suma de coste total*

Teniendo en cuenta el coste de las horas de trabajo empleadas:

	<b>Horas de trabajo</b>	<b>Precio por hora</b>	<b>Coste total</b>
<b>Ingeniera recién graduada</b>	200 h	\$ 30 / h	\$ 6.000
<b>Ingeniero senior</b>	15 h	\$ 50 / h	\$ 750

*Tabla 8.3: Coste en función de horas de trabajo. Fuente: Elaboración propia*

El coste del trabajo realizado por los ingenieros es:

$$\text{Coste} = \$ 6.000 + \$ 750 = \$ 6.750$$

*Ecuación 8.20: Coste de trabajo de ingenieros*



*Ilustración 8.3: Gráficos de sectores: horas de trabajo y coste total. Fuente: Elaboración propia*

Consecuentemente, el coste final del proyecto es:

$$\text{Coste final} = \$ 698.120 + \$ 6.750 = \$ 704.870$$

*Ecuación 8.21: Coste final del proyecto*

## 9. PLANIFICACIÓN Y ACCIONES FUTURAS

### 9.1. PLANIFICACIÓN

Con la intención de llevar a cabo la idea de edificio inteligente lo antes posible, se ha plantado una planificación. La idea es estructurar la reforma en dos partes: la primera en septiembre de 2022, que recoja la automatización de luces y la instalación de sistemas fotovoltaicos, y la segunda en diciembre de 2022, con los cambios de inodoros de doble pulsación de cisternas y los grifos de duchas con regulación de caudal.

Se ha dividido en dos partes por un motivo simple, la primera parte de la reforma se puede llevar a cabo con residentes en el edificio y es preferible llevarla a cabo con buen tiempo (por la instalación de los sistemas fotovoltaicos principalmente). La segunda parte es preferible ejecutarla sin estudiantes en HERE, pues afecta directamente a sus apartamentos y, consecuentemente, a su privacidad.

La planificación es la siguiente:

#### Septiembre 2022

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Automatización de luces: sensores PIR													
Sistemas fotovoltaicos													
Sistemas de doble pulsación de cisternas													
Regulación de caudal de duchas													

Tabla 9.1: Planificación Septiembre 2022. Fuente: Elaboración propia

#### Diciembre 2022

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Automatización de luces: sensores PIR													
Sistemas fotovoltaicos													
Sistemas de doble pulsación de cisternas													
Regulación de caudal de duchas													

Tabla 9.2: Planificación Diciembre 2022. Fuente: Elaboración propia



## 9.2. ACCIONES FUTURAS

Además del ahorro energético, otra de las claves para que un edificio sea considerado inteligente implica la automatización del mismo. A lo largo de la memoria, esta automatización se ha visto reflejada en el sistema de luces, pues se activan únicamente al detectar movimiento. Otra acción que se puede mecanizar es el grifo del lavabo.

El tipo de sensor de este grifo es de infrarrojos. A continuación, se muestra una imagen de su funcionamiento y activación:



Ilustración 9.1: Grifo de lavabo con sensor. Fuente: Amazon<sup>46</sup>

Al mismo tiempo que se consigue la automatización del grifo, se contribuye al ahorro de agua. Por lo general, se consumen unos 13 litros de agua al lavarse las manos. Al utilizar un grifo con sensor, se reduce este consumo a 4,5 litros<sup>47</sup>. Teniendo en cuenta que una persona debería lavarse las manos al menos 7 veces al día<sup>48</sup>, se procede a calcular el ahorro de agua que este cambio supone.

---

<sup>46</sup> AIMADI. Grifo con sensor infrarrojo automático, grifo mezclador de inducción, grifo de lavabo, funciona con pilas, cromado. Amazon. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.amazon.es/AIMADI-autom%C3%A1tico-infrarrojo-inducci%C3%B3n-funciona/dp/B088T71JHK?th=1>

<sup>47</sup> (2018). Ahorra agua en tu negocio con grifos temporizados. Grifería Clever. Obtenido el 20/06/2022 de <https://ideasyconsejos.griferiaclever.com/griferia-temporizada/#:~:text=La%20instalaci%C3%B3n%20de%20este%20tipo,mientras%20nos%20enjabonamos%20las%20manos.>

<sup>48</sup> Lázaro, M. y Bracero, A. (2017). Cuántas veces hay que lavarse las manos al día y cómo hay que hacerlo. Obtenido el 20/06/2022 de [https://www.huffingtonpost.es/2015/05/05/como-lavarse-las-manos\\_n\\_7202982.html](https://www.huffingtonpost.es/2015/05/05/como-lavarse-las-manos_n_7202982.html)

El ahorro de agua se calcula determinando el consumo diario con un grifo tradicional, el consumo diario con un grifo con sensor y la diferencia entre ellos. Posteriormente, se determina el ahorro de agua medio anual que se consigue con el cambio.

Teniendo en cuenta que el número de residentes es 450:

#### **Grifo de ducha americano**

$$13 \frac{\text{L}}{\text{lavado} \times \text{residente}} \times 7 \text{ lavados} \times 450 \text{ residentes} = 40.950 \text{ L}$$

*Ecuación 9.1: Consumo de agua en lavabo con grifo tradición*

#### **Grifo de ducha termostático**

$$4,5 \frac{\text{L}}{\text{lavado} \times \text{residente}} \times 7 \text{ lavados} \times 450 \text{ residentes} = 14.175 \text{ L}$$

*Ecuación 9.2: Consumo de agua en lavabo con grifo con sensor*

#### **Diferencia**

$$40.950 \text{ L} - 14.175 \text{ L} = 26.775 \text{ L}$$

*Ecuación 9.3: Ahorro de agua diario en lavabo*

El ahorro diario es de 26.775 L. Se procede a calcular el ahorro anual:

$$\frac{26.775 \text{ L}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = \frac{9.772.875 \text{ L}}{\text{año}}$$

*Ecuación 9.4: Ahorro de agua anual en lavabo*

El ahorro anual es de 9.8 millones de litros.

Dentro de la planificación de acciones futuras, este sería la siguiente modificación. No solo se potenciaría la automatización del edificio, también el ahorro energético.

## 10.CONCLUSIONES

HERE es un edificio moderno y, consecuentemente, adaptado a las nuevas tecnologías. Un ejemplo de su integración en el mundo de tecnológico es su forma de abrir las puertas. Los residentes poseen una llave imantada que, al entrar en contacto con otro imán situado en la puerta, habilita el paso. Esta llave permite el paso a todas las instalaciones comunes y al apartamento del inquilino. Su funcionamiento es muy similar a las tarjetas de los hoteles.



*Ilustración 10.1: Llave imantada. Fuente: Cooperator News<sup>49</sup>*

No solo es sorprendente el empleo de esta llave, y la tecnología que hay detrás de su funcionamiento, sino que además los residentes poseen una aplicación móvil gratuita que permite abrir la puerta sin necesidad de llave.

Esta aplicación resulta muy útil a los residentes cuando reciben visitas, por ejemplo, pues pueden abrir con facilidad sin tener que desplazarse de sus apartamentos. El funcionamiento es sencillo, basta simplemente con tener el bluetooth del dispositivo conectado.

---

<sup>49</sup> Sidransky, AJ. (2019). Llaves, llaveros y códigos de puertas. Cooperator News. Obtenido el 08/07/2022 de <https://cooperatornews.com/article/keys-key-fobs-and-door-codes>

Para fomentar el ahorro y la automatización de HERE, con el objetivo de conseguir un edificio inteligente, se han desarrollado unas modificaciones que implican unas consecuencias muy positivas. El consumo eléctrico se reducirá significativamente con los sensores de movimiento. De esta forma, se pasa de tener el edificio alumbrado 24 horas al día, a tenerlo una media de 5 horas. Además, el uso de paneles fotovoltaicos va a contribuir también al ahorro energético. Tener la capacidad de autoabastecerse, eléctricamente hablando, es un gran avance para conseguir el objetivo planteado.

El ahorro de agua se consigue mediante la modernización de dos sistemas de uso diario, la cisterna y el grifo de ducha. A continuación, se muestra una tabla que recoge el ahorro de agua y el ahorro económico diario que conlleva. Sabiendo que el precio de 20 L de agua de grifo es de \$0.01<sup>50</sup>:

$$\frac{\$0,01}{20 \text{ L}} = \frac{\$0,0005}{\text{L}}$$

*Ecuación 10.1: Precio de agua de grifo EE.UU*

	<b>Tradicional</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Economía</b>
<b>Cisternas</b>	5.562 L	2.205 L	3.357 L	\$1,68
<b>Grifos</b>	36.639 L	30.831 L	5.808 L	\$2,01

*Tabla 10.1: Ahorro de agua general. Fuente: Elaboración propia*

Cada vez se construyen más edificios en el mundo, sobre todo en Estados Unidos. Es importante, de cara al futuro, tener una actitud positiva y proactiva frente al medioambiente. Si se consigue un mayor número de edificios inteligentes, que estén comprometidos con el planeta y que busquen cumplir los objetivos de desarrollo sostenible, se reducirá considerablemente el consumo de CO<sub>2</sub> que tanto preocupa en nuestros días. Desde un principio, esto ha sido lo que se ha querido conseguir con la reforma de HERE. Con suerte, dentro de unos años, estos cambios otorgarán a HERE el título de edificio inteligente.

<sup>50</sup> ¿Cuánto cuesta el agua del grifo de EE. UU.? Spiegato. Obtenido el 08/07/2022 de <https://spiegato.com/es/cuanto-cuesta-el-agua-del-grifo-de-ee-uu>

## 11.BIBLIOGRAFÍA

<sup>1</sup> Garrett, C. (2022). *Desarrollo sostenible: definición, objetivos y ejemplos*. Climate consulting by Selectra. Obtenido el 10/04/2022 de <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible>

<sup>2</sup> (2022) *Objetivos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. Obtenido el 10/04/2022 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

<sup>3</sup> (2022) *Edificios inteligentes en México*. Lamudi, Portal número 1 de bienes raíces. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.lamudi.com.mx/journal/edificios-inteligentes-en-mexico/>

<sup>4</sup> (2017). *¿Qué es un smart building y cómo se gestiona la eficiencia energética?* Blatem. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.blatem.com/es/actualidad/noticias/que-es-un-smart-building-y-como-gestiona-la-eficiencia-energetica>

<sup>5</sup> Educa, E., Educa, R. and domótica, S. (2022). *Smart building casa domótica*. Endesa. Obtenido el 20/04/2022 de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-building-casa-domotica>

<sup>6</sup> *HERE Champaign: Champaign, IL Student Apartments near UIUC*. HERE. Obtenido el 07/05/2022 de <https://www.herechampaign.com/>

<sup>7</sup> (2017). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. EPA. Obtenido el 08/05/2022 de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>

<sup>8</sup> Mena Roa, M. (2021). *Los países que más contaminan el aire*. Statista. Obtenido el 08/05/2022 de <https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/>

<sup>9,10</sup> Llamas, L. (2022). *Detector de movimiento con Arduino y sensor PIR*. Luis Llamas. Obtenido el 10/05/2022 de <https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>

<sup>11</sup> (2021). *2021 Weather History in Champaign*. Weather Spark. Weather Spark. Obtenido el 10/05/2022 de <https://weatherspark.com/h/y/13280/2021/Historical-Weather-during-2021-in-Champaign-Illinois-United-States#Figures-ColorTemperature>

<sup>12</sup> (2021). *Climate and Average Weather Year Around In Champaign*. Weather Spark. Obtenido el 10/05/2022 de <https://weatherspark.com/y/13280/Average-Weather-in-Champaign-Illinois-United-States-Year-Round#Sections-Rain>

<sup>13</sup> *Todo lo que hay que saber a la hora de decidir la orientación y la inclinación de las placas solares*. Solar Profit. Obtenido el 11/05/2022 de <https://solarprofit.es/es/blog/inclinacion-y-orientacion-placas-solares/#None>

<sup>14</sup> (2021). *¿Cómo afecta la nieve a la producción de los paneles solares?* EiDF. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.eidsolar.es/como-afecta-la-nieve-a-la-produccion-de-los-paneles-solares/>

<sup>15</sup> (2021) *¿Cómo afecta la nieve a los paneles solares?* Univergy Solar. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.univergysolar.com/efectividad-paneles-solares-nieve/>

<sup>16</sup> (2021) *¿Cómo afecta la nieve a los paneles solares?* Cambio energético. Obtenido el 11/05/2022 de <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-afecta-nieve-paneles-solares/>

<sup>17</sup> *Frequently Asked Questions (FAQs)* - U.S. Energy Information Administration (EIA). Obtenido el 18/05/2022 de <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3>

<sup>18</sup> Quintela, F.R. y Redondo Melchor, R.C. *Diccionario de Ingeniería Eléctrica*. Universidad de Salamanca. Obtenido el 18/05/2022 de <https://electricidad.usal.es/Diccionario>

<sup>19</sup> (2020). *Qué es el factor de simultaneidad y cómo calcularlo*. Endesa. Obtenido el 18/05/2022 de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/factor-simultaneidad-calculo>

<sup>20</sup> (2022). *Horas de sol pico ¿Qué es y para qué sirve?* - HelioEsfera. Obtenido el 20/05/2022 de <https://www.helioesfera.com/horas-de-sol-pico-que-es-y-para-que-sirve/>

<sup>21</sup> Beale, A., (2022). *Peak Sun Hours Calculator*. Footprint Hero. Obtenido el 21/05/2022 de <https://footprinthero.com/peak-sun-hours-calculator>

<sup>22</sup> Beale, A., (2022). *Solar Panel Tilt Angle Calculator*. Footprint Hero. Obtenido el 21/05/2022 de <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>

<sup>23</sup> (2021). *Gallons Used Per Person Per Day*. Water.Phila.Org. Obtenida el 25/05/2022 de <https://water.phila.gov/pool/files/home-water-use-ig5.pdf>

<sup>24</sup> (2022). *How We Use Water*. US EPA. Obtenido el 25/05/2022 de <https://www.epa.gov/watersense/how-we-use-water#:~:text=The%20average%20American%20family%20uses,of%20this%20use%20occurs%20indoors.>

<sup>25</sup> González, N. (2022). *¿Qué son las cisternas de doble descarga?* Leroy Merlín. Obtenido el 05/06/2022 de <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Fontaner%C3%ADa/Qu%C3%A9-son-las-cisternas-de-doble-descarga/ta-p/11574>

<sup>26</sup> (2021). *Are dual flush toilets worth the trouble?* Dauenhauer. Obtenido el 05/06/2022 de <https://dauenhauerplumbing.com/2018/04/11/are-dual-flush-toilets-worth-the-trouble/>

<sup>27</sup> American Standard. (2021). *Inodoro de una sola pieza Champion-4*. Amazon. Obtenido el 10/06/2022 de <https://www.amazon.com/-/es/Inodoro-Champion-4-American-Standard-2034314-020/dp/B01BNVDQDC?th=1>

<sup>28</sup> ROCA. (2021). *Pack WC ROCA Eos con tapa amortiguada*. Leroy Merlín. Obtenido el 10/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/fp/16859283/pack-wc-roca-eos-con-tapa-amortiguada>

<sup>29</sup> ROCA. (2022). *Mecanismo de doble descarga PLUS con dos pulsadores - Cambio del mecanismo Roca*. Roca. Obtenido el 10/06/2022 de [https://www.youtube.com/watch?v=Aidu1dEJwoA&ab\\_channel=RocaPro](https://www.youtube.com/watch?v=Aidu1dEJwoA&ab_channel=RocaPro)

<sup>31</sup> (2022). *¿Cuánto debe durar una ducha?* Hogarmania: Prevención y cuidados. Obtenido el 12/06/2022 de <https://www.hogarmania.com/salud/salud-familiar/prevencion-cuidados/cuanto-debe-durar-ducha.html>

<sup>32</sup> (2022). *¿Qué es mejor: un grifo termostático o monomando?* Cronoshare. Obtenido el 12/06/2022 de <https://www.cronoshare.com/comunidad/comparativas/grifo-termostatico-monomando>

<sup>33</sup> Sanz Fernandez, I. (2003). *El coste de ciclo de vida en las bombas*

<sup>34</sup> *Grifos de ducha*. Leroy Merlín. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/banos/griferia-de-bano/grifos-ducha>

<sup>35</sup> (2022). *Cómo ahorrar energía con los grifos termostáticos*. EnergyGO. Obtenido el 13/06/2022 de <https://blog.energygo.es/como-ahorrar-energia-con-los-grifos-termostaticos/>

<sup>36</sup> *Cambiar fontanería - Cambiar grifo: Precio y Presupuesto*. Habitissimo. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.habitissimo.es/presupuestos/cambiar-grifo>

<sup>37</sup> (2022). *¿Cómo ahorrar electricidad con grifos termostáticos?* Endesa. Obtenido el 13/06/2022 de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/climatizacion/ahorrar-electricidad-grifos-termostaticos#:~:text=Sin%20embargo%2C%20con%20grifos%20termost%C3%A1ticos,litros%20de%20agua%20por%20ducha.>



<sup>38</sup> *Luz LED con Sensor Movimiento – Detector de Movimiento PIR 180° Superficie.* EfectoLED. Obtenida el 20/06/2022 de <https://www.efectoled.com/es/?search&query=sensor-movimiento-pir>

<sup>39</sup> *What is the salary of an Electrician in Illinois?* Indeed. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.indeed.com/career/electrician/salaries/IL>

<sup>40</sup> *How much do solar panels cost in Champaign, IL in 2022?* Energy Sage. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.energysage.com/local-data/solar-panel-cost/il/champaign-county/champaign/#:~:text=As%20of%20June%202022%2C%20the,IL%20coming%20in%20at%20%2415%2C100>

<sup>41</sup> *What is the salary of an Solar Panel Installer in Illinois?* Indeed. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.indeed.com/career/solar-installer/salaries>

<sup>42</sup> *How Much Do Solar Panels Cost? (2022 Guide)* This Old House. Obtenido el 06/07/2022 de <https://www.thisoldhouse.com/solar-alternative-energy/reviews/solar-panel-cost>

<sup>43</sup> *Pack WC ROCA Eos con tapa amortiguada.* Leroy Merlín. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.leroymerlin.es/fp/16859283/pack-wc-roca-eos-con-tapa-amortiguada>

<sup>44</sup> *How much will your toilet install cost?* HomeGuide. Obtenido el 20/06/2022 de <https://homeguide.com/costs/toilet-installation-cost#:~:text=On%20average%2C%20a%20standard%20toilet,estimates%20from%20plumbers%20near%20you.>

<sup>45</sup> *How Much Does It Cost To Install A Shower Faucet?* Porch. Obtenido el 06/07/2022 de <https://porch.com/project-cost/cost-to-install-a-shower-faucet>

<sup>46</sup> AIMADI. *Grifo con sensor infrarrojo automático, grifo mezclador de inducción, grifo de lavabo, funciona con pilas, cromado*. Amazon. Obtenido el 20/06/2022 de <https://www.amazon.es/AIMADI-autom%C3%A1tico-infrarrojo-inducci%C3%B3n-funciona/dp/B088T71JHK?th=1>

<sup>47</sup> (2018). *Ahorra agua en tu negocio con grifos temporizados*. Grifería Clever. Obtenido el 20/06/2022 de <https://ideasyconsejos.griferiaclever.com/griferia-temporizada/#:~:text=La%20instalaci%C3%B3n%20de%20este%20tipo,mientras%20nos%20enjabonamos%20las%20manos.>

<sup>48</sup> Lázaro, M. y Bracero, A. (2017). *Cuántas veces hay que lavarse las manos al día y cómo hay que hacerlo*. Obtenido el 20/06/2022 de [https://www.huffingtonpost.es/2015/05/05/como-lavarse-las-manos\\_n\\_7202982.html](https://www.huffingtonpost.es/2015/05/05/como-lavarse-las-manos_n_7202982.html)

<sup>49</sup> Sidransky, AJ. (2019). *Llaves, llaveros y códigos de puertas*. Cooperator News. Obtenido el 08/07/2022 de <https://cooperatornews.com/article/keys-key-fobs-and-door-codes>

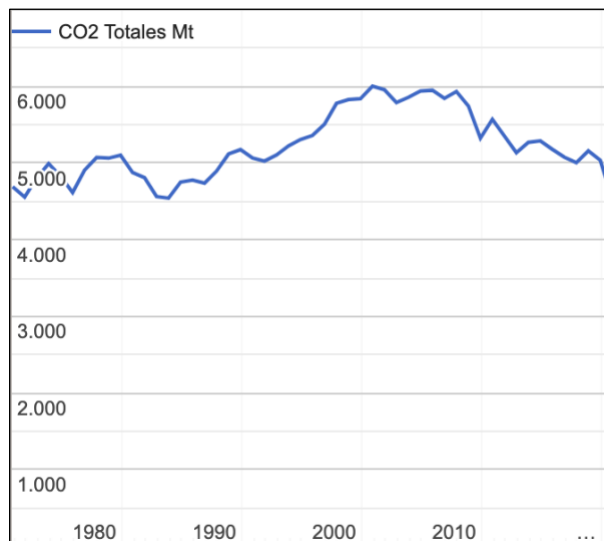
<sup>50</sup> ¿Cuánto cuesta el agua del grifo de EE. UU.? Spiegato. Obtenido el 08/07/2022 de <https://spiegato.com/es/cuanto-cuesta-el-agua-del-grifo-de-ee-uu>

<sup>51</sup> *Descienden las emisiones de CO2 en Estados Unidos*. Expansión. Obtenido el 08/05/2022 de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/usa>

## 12.ANEXOS

### 12.1. ANEXO 1: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE CO<sub>2</sub> EN EE. UU.

Fecha	CO2 Totales Mt	CO2 Kg/1000\$	CO2 t per capita
2020	4.535,301	0,23	13,68
2019	5.036,047	0,24	15,30
2018	5.159,307	0,26	15,79
2017	5.005,532	0,26	15,43
2016	5.076,983	0,27	15,76
2015	5.179,691	0,28	16,19
2014	5.290,056	0,29	16,65
2013	5.271,158	0,30	16,71
2012	5.136,008	0,29	16,39
2011	5.354,327	0,31	17,21
2010	5.571,872	0,33	18,05
2009	5.324,911	0,33	17,40
2008	5.745,799	0,34	18,94
2007	5.934,180	0,35	19,74
2006	5.845,477	0,35	19,63
2005	5.950,701	0,37	20,16
2004	5.940,870	0,38	20,31
2003	5.858,757	0,39	20,20
2002	5.790,906	0,40	20,14
2001	5.956,920	0,42	20,91
2000	6.004,317	0,42	21,29
1999	5.840,840	0,43	20,95
1998	5.829,419	0,45	21,16
1997	5.780,277	0,47	21,24
1996	5.508,476	0,46	20,49
1995	5.360,879	0,47	20,18
1994	5.308,775	0,48	20,21
1993	5.225,107	0,49	20,10
1992	5.106,798	0,49	19,84
1991	5.025,971	0,50	19,71
1990	5.067,497	0,50	20,07
1989	5.176,079		20,69
1988	5.118,597		20,66
1987	4.895,407		19,95
1986	4.737,838		19,49
1985	4.778,486		19,84
1984	4.752,507		19,92
1983	4.542,170		19,22
1982	4.563,063		19,49



1981	4.808,565		20,73
1980	4.877,321		21,23
1979	5.103,578		22,42
1978	5.064,522		22,46
1977	5.073,797		22,72
1976	4.909,707		22,19
1975	4.615,181		21,05
1974	4.828,668		22,23
1973	4.993,489		23,20
1972	4.805,637		22,52
1971	4.556,471		21,55
1970	4.691,657		22,39

*Tabla 12.1: Anexo 2: Consumo CO2 en EE.UU. Fuente: Expansión<sup>51</sup>*

---

<sup>51</sup> *Descienden las emisiones de CO2 en Estados Unidos.* Expansión. Obtenido el 08/05/2022 de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/usa>