UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN

Doctorado en Innovación Tecnológica en Edificación

**ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE
FRANK LLOYD WRIGHT COMO REFERENCIA DE
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA;
TRANSPOSICIÓN A LA ARQUITECTURA ACTUAL**

Autora:

MARÍA ÁNGELES BELTRÁN FERNÁNDEZ
Arquitecta

Directores:

JULIÁN GARCÍA MUÑOZ

Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid.

EMMANUEL DUFRASNES

Doctor por la Escuela Politécnica de la Universidad de Saboya.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN

Doctorado en Innovación Tecnológica en Edificación

**ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA OBRA DE
FRANK LLOYD WRIGHT COMO REFERENCIA DE
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA;
TRANSPOSICIÓN A LA ARQUITECTURA ACTUAL**

Autora:

MARÍA ÁNGELES BELTRÁN FERNÁNDEZ

Arquitecta

Directores:

JULIÁN GARCÍA MUÑOZ

Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid.

EMMANUEL DUFRASNES

Doctor por la Escuela Politécnica de la Universidad de Saboya.

Resumen

El impacto negativo del sector de la construcción sobre el cambio climático es debido en buena parte al empleo de sistemas de climatización y calefacción con el objetivo de proporcionar confort en el interior de los edificios. A la vista de este contexto se exige la búsqueda de estrategias constructivas y de diseño arquitectónico con la finalidad de disminuir el consumo energético y las emisiones de CO₂, sin detrimento del confort interior.

La arquitectura bioclimática, entendida como aquella que responde a las necesidades del hombre ayudándose del clima y del entorno, puede servir como modelo a seguir para la construcción de una arquitectura responsable. Frank Lloyd Wright desarrolló su arquitectura en torno a la relación entre el edificio y la naturaleza. Su trabajo es un buen ejemplo de eficiencia arquitectónica y constructiva, en un sentido clásico.

El análisis de la obra de Wright demuestra cómo con frecuencia los elementos arquitectónicos por él empleados buscan resolver problemas medioambientales. Por ejemplo, el voladizo, elemento formal de sistema de protección solar, o las grandes superficies acristaladas que conectan el interior con la naturaleza permitiendo la ventilación y la iluminación natural de los edificios. El modelo de vivienda *usoniana*, que Wright desarrolla y evoluciona a lo largo de su extensa carrera, pone de manifiesto el empleo de estas estrategias de forma casi sistemática.

Para realizar este análisis, en la presente tesis se ha llevado a cabo una investigación de carácter histórico para recrear con fidelidad el modelo arquitectónico de vivienda *usoniana*, la casa Jacobs I construida en 1937. Este estudio exhaustivo ha tenido como resultado la construcción de la maqueta digital de la vivienda sobre la que experimentar con el fin de demostrar las hipótesis planteadas. Se han realizado simulaciones de diferentes escenarios constructivos de la vivienda. La comparación de los resultados obtenidos, tomando como referencia los datos de temperatura operativa, ha permitido valorar de forma empírica cómo los elementos diseñados por el arquitecto influyen de forma positiva sobre el confort térmico interior.

El empleo de las premisas de confort del propio Wright, que consideraba la capacidad de reacción y de adaptación de los usuarios a las condiciones climáticas externas, permite adoptar un rango de confort más flexible, que se traduce en una reducción de los sistemas de acondicionamiento artificiales necesarios para alcanzar el confort, con la consiguiente reducción de consumo energético.

Esta tesis propone una transposición de las soluciones arquitectónicas y constructivas de Wright a la arquitectura actual. Pero no una transposición formal, sino ideológica. Una transposición del proceso del diseño, y del tipo de aproximación que Wright hace a la naturaleza en sus edificios, mediante el conocimiento del lugar, del clima y de los materiales. Una transposición que puede, con el soporte de las nuevas tecnologías, despejar el camino hacia una arquitectura que dé solución a los problemas energéticos contemporáneos.

Abstract

The building sector has a negative impact on climate change mainly through its use of HVAC systems to achieve interior comfort. Alternative building strategies and architectural design practices must be developed to reduce energy consumption and CO₂ emissions, with no detriment to interior comfort.

Bioclimatic architecture, which responds to human necessities based on the weather and on the environment, could be seen as a model for sustainable architecture. These principles inform the work of Frank Lloyd Wright, who developed his architecture based on the relationship with nature.

A constructive analysis of his work shows how the use of architectural elements responds to environmental issues. Examples include the cantilever, a formal element for sun protection, or the large glazed surfaces which connect interior to exterior spaces allowing natural ventilation. The Usonian House, the housing model that Wright developed during his long career, reveals the systematic use of these strategies.

An energetic simulation of the Jacobs I house, seen as a representative model of the Usonian House, demonstrates and quantifies the positive impact of these design elements on interior thermal comfort, taking the operative temperature as a reference. In line with Wright's assumptions, the simulations take into account user reactions and the capacity to adapt to external thermal conditions. These assumptions lead to the definition of a more flexible thermal comfort range, decreasing the use of mechanical HVAC systems and reducing energy consumption.

The transposition proposed is not a formal but an ideological transposition of Wright's design process and natural approach, involving knowledge of materials, weather and environment. Design based on nature and belief in a more engaged society combined with technological progress could be a guide towards an architecture that responds to the current negative context.

Agradecimientos y dedicatoria

Dedico esta tesis a los compañeros, familiares y amigos que me han ayudado y apoyado durante este largo periodo.

A Julián García Muñoz, por su ayuda e implicación a lo largo de todo este proceso, desde el principio hasta el último día.

A Emmanuel Dufrasnes, por su orientación y guía al inicio de esta investigación, que sirvió de gran apoyo para encontrar el camino.

Al personal de la ETSEM de Madrid y de la ENSAS de Estrasburgo, que siempre han estado presentes con su ayuda para cualquier necesidad.

A mis padres, que me han inculcado el valor del esfuerzo desde niña y, en especial, a mi padre, que fue quien me presentó la obra de Frank Lloyd Wright.

A mi abuela María Ángeles, a Susan y Fernando por su incondicional apoyo.

Y por supuesto a mi familia, mis hijas Blanca y Sofía, y a mi marido Sergio, que han sabido comprenderme y escucharme con mis estudios e investigaciones, y por su gran apoyo y ayuda.

Por último, a Frank Lloyd Wright, protagonista de este trabajo, del que he vuelto a aprender el amor por la Naturaleza y cuyas ideas siguen, 150 años después de su nacimiento, más vigentes que nunca.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	10
----------------------	----

CAPÍTULO I. Antecedentes	14
--------------------------------	----

1. Planteamiento del problema	16
2. Interés y justificación del tema elegido.....	17
3. Objetivos	20
4. Hipótesis.....	21
5. Metodología	22
6. Estructura de la tesis.....	24

CAPITULO II. ANÁLISIS TEMÁTICO	26
--------------------------------------	----

1. Arquitectura Bioclimática	28
1.1. Definición de Bioclimático	28
1.2. Relación Arquitectura y Clima.....	29
1.3. Análisis Cronológico de la Arquitectura Bioclimática.....	30
1.4. Arquitectura Ecológica, Bioclimática y/o Sostenible.....	47
2. Confort Térmico.....	50
2.1. Definición.....	50
2.2. Modelos de evaluación del confort térmico	51
2.3. Herramientas de Cálculo del confort térmico interior.....	56
2.4. Medición de las condiciones térmicas que condicionan el confort térmico interior.....	60
3. Frank Lloyd Wright.....	67
3.1. Biografía de Frank Lloyd Wright a través de la evolución de su arquitectura.....	68

3.2.	Organic Architecture	88
3.3.	Organic Architecture y Arquitectura Bioclimática.....	89
3.4.	Referencia de la Arquitectura de Frank Lloyd Wright como Arquitectura Bioclimática	89
3.5.	Edificios de Frank Lloyd Wright analizados desde el punto de vista medioambiental	93
3.6.	Satisfacción de los usuarios.....	112
3.7.	Continuidad de su filosofía a través de sus discípulos.	115
3.8.	Justificación del análisis de la Arquitectura de Frank Lloyd Wright como referencia de Arquitectura Bioclimática.	117

CAPÍTULO III. La vivienda en la obra de Frank Lloyd Wright. La vivienda usoniana

120

1.	Clasificación constructiva de la vivienda unifamiliar en la obra de Frank Lloyd Wright	123
1.1.	Pre-usoniana (1887-1917)	123
1.2.	Período de transición (1915-19).....	135
1.3.	Vivienda Usoniana (1923-59)	136
1.4.	Conclusiones	148
2.	Análisis Constructivo y bioclimático de las viviendas usonianas	153
2.1.	Primera vivienda para Herbert y Katherine Jacobs, la casa Jacobs I.	153
2.2.	La casa Jacobs II o Hemiciclo Solar	175
2.3.	Conclusiones	187

CAPÍTULO IV. Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la tipología residencial unifamiliar. Análisis de la casa Jacobs I.

188

1.	Modelo digital	191
2.	Datos de partida.....	205
3.	Análisis de la influencia de las estrategias empleadas bioclimáticas empleadas. Descripción y análisis de los parámetros estudiados.....	208

3.1.	Orientación y Ventilación natural	208
3.2.	Voladizos.....	214
3.3.	Inercia térmica de los materiales empleados	218
4.	Análisis de la influencia del comportamiento de los usuarios en el confort térmico interior.....	223
4.1.	Influencia de la vestimenta, cloth (características térmicas del vestido).....	223
4.2.	Cálculo del confort térmico interior de la vivienda Jacobs I.....	231
CAPÍTULO V. DISCUSION DE RESULTADOS. CONCLUSIONES.		236
Discusión de resultados. Conclusiones.		238
1.	La vivienda en la obra de Frank Lloyd Wright. La vivienda usoniana	238
2.	Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la tipología residencial unifamiliar. Análisis de la casa Jacobs I.	239
3.	Influencia del comportamiento de los usuarios en el confort térmico interior	241
4.	Transposición a la arquitectura actual.	242
CHAPTER V. Results analysis. Conclusions.		245
1.	Housing in Frank Lloyd Wright's work. The Usonian House	245
2.	Analysis/Study of the bioclimatic strategies used by Frank Lloyd wright in the Single-family dwellings type. Analysis of the Jacobs I house.....	246
3.	Influence of users' behaviour on thermal interior comfort	248
4.	Transposition to today's architecture.	249
Futuras líneas de Investigación		252
BIBLIOGRAFÍA		254
ANEJOS		269
1.	Índice de Figuras	270

1.	Índice de tablas.....	277
2.	Índice de gráficos	278
3.	Índice de gráficas	279
4.	Tablas de resultados Design Builder	280

CAPÍTULO I. Antecedentes

1. Planteamiento del problema

Este proyecto de investigación nace como una reflexión sobre la situación actual del sector de la construcción y su impacto sobre el cambio climático, con el objetivo de hacer una llamada de atención y recuperar una vía de experimentación arquitectónica alternativa, que actualmente ha caído en el olvido.

Los datos son ampliamente conocidos; el sector de la construcción representa un 40% del total de la energía consumida y contribuye con un 30% a las emisiones globales de CO₂ (International Energy Agency 2015, Comisión Europea 2012) debido en buena parte al empleo de sistemas de climatización y calefacción con el objetivo de proporcionar confort en el interior de los edificios. Desde los diferentes organismos públicos se están desarrollando reglamentaciones y medidas con el objetivo de reducir la demanda energética de los edificios y las emisiones de CO₂. Como ejemplo, la directiva europea en eficiencia energética fijó como objetivo para el año 2020 la reducción en un 20% el consumo de energía en relación a datos de consumo energético de 1990. En el año 2016, este objetivo se revisó y se amplió a un 30% para el año 2030. Para ello, uno de los requisitos que fija dicha directiva es que todos los edificios de nueva construcción sean NZEB¹ en 2020, y en 2018 en el caso de edificios públicos (*Directive Européene efficacité Energétique* [2012] 2016).

El problema del cambio climático es una realidad mundialmente reconocida. Los arquitectos tienen la capacidad de influir en el diseño, en la construcción y en el modo de habitar los edificios, incidiendo de esta forma sobre el consumo de energía, por lo que se considera que está dentro de su responsabilidad actuar frente a este problema.

¹NZEB: *Nearly Zero Energy Building* o “edificio de consumo de energía casi nulo” debe entenderse un “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto.. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.”

2. Interés y justificación del tema elegido.

En un primer momento, el tema de estudio se encaminó siguiendo una tendencia, asociada al movimiento *techno-fix* (Lloyd Jones 1998, 11 citado en (Fieldson 2004), que ve en la tecnología la respuesta a los problemas ocasionados al medioambiente, independientemente de la evolución de la sociedad. Los avances y el desarrollo de la tecnología aportan grandes ventajas en la construcción que deben tenerse en cuenta y aplicarse de forma inteligente.

Por otro lado, en países en vías de desarrollo donde el alcance a la tecnología es limitado, los elementos de la arquitectura vernácula son todavía una realidad y son empleados de forma sistemática en el diseño de edificios. El empleo de estos elementos en la arquitectura contemporánea aporta e influye en el confort térmico interior con un consumo energético menor que el supondría la utilización de sistemas de climatización. Esta tendencia *ecologista*, más próxima al pensamiento arquitectónico *cultural-fix* (Lloyd Jones 1998, 11 citado en (Fieldson 2004), aboga por un cambio en la cultura y en la actitud de la sociedad para la conservación del medioambiente y el ahorro energético, retomando diseños arquitectónicos basados en los elementos externos del entorno para alcanzar un confort interior adecuado. La aplicación de esta tendencia en arquitectura podría reducir a corto plazo y de forma considerable el consumo energético y las emisiones de CO₂ debidas al sector de la construcción.

Esta corriente de pensamiento asociada a la arquitectura vernácula y a la arquitectura pre-revolución industrial corresponde a lo que en la actualidad se denomina arquitectura *bioclimática* y que no es otra cosa que

“Arquitectura, simple y llanamente” (López Asiain 2001, 48)

A través del análisis cronológico de la arquitectura bioclimática se observa que muchas de las ideas que favorecía un confort interior dentro de la vivienda de forma natural, se han ido perdiendo y olvidando poco a poco dando paso al empleo sistemático de los sistemas de climatización e iluminación artificial cuyo uso son la principal fuente de consumo energéticos.

También se ha observado que el uso de estos sistemas, no genera forzosamente un confort interior más agradable que el que podría conseguirse mediante el empleo conjunto de sistemas de acondicionamiento pasivos. El empleo de sistemas pasivos de acondicionamiento e iluminación natural debería extenderse de forma sistemática en la arquitectura actual. Además, el empleo de sistemas constructivos más evolucionados, supondría un resultado muy efectivo al apoyarse sobre una base mucho mejor.

Por esto, se considera fundamental investigar sobre la arquitectura bioclimática y su posible transposición a la arquitectura actual, para conseguir un confort térmico adecuado dentro de los edificios.

El objetivo principal de la arquitectura bioclimática es crear un microcosmos de confort interior adecuado para el usuario tomando como referencia el medioambiente que le

rodea y en relación de simbiosis con la naturaleza, por lo que parece fundamental antes de comenzar a experimentar, saber qué significa y qué supone un *confort interior adecuado*. ¿Cuáles son los parámetros a alcanzar?, si es que existen y pueden definirse y, ¿cómo se valoran?

Se ha observado, que, en función del método empleado para valorar el confort térmico, la zona de confort puede variar. El método adaptativo, aplicable a edificios ventilados de forma natural, que considera la capacidad de reacción y de adaptación de los usuarios frente a las condiciones climáticas, la zona de confort se alcanza con temperaturas interiores más elevadas que empleando el método PMV, para edificios climatizados mecánicamente (Taleghani et al. 2013, 201-213). Este incremento en el límite de la temperatura de confort, supondría un ahorro energético considerable, teniendo en cuenta los datos del Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía, IDAE, una diferencia de 2° C en la temperatura de consigna de climatización en verano o de calefacción en invierno, puede suponer un ahorro energético de hasta un 10% (IDAE 2005).

La mayor flexibilidad de rango de las condiciones de confort térmico que proporciona el modelo adaptativo, contando con la capacidad de reacción de los usuarios para adecuarse a las condiciones cambiantes del clima, va a permitir una mayor adaptación frente a las condiciones meteorológicas que el cambio climático genera, más variables y más extremas (Aries y Bluysen 2009).

El papel del usuario es decisivo para alcanzar el confort térmico. Un mayor compromiso por parte de la sociedad será necesario para impulsar una arquitectura más comprometida con el medioambiente.

Al ámbito de la arquitectura bioclimática pertenece la obra del gran maestro de la arquitectura el S. XX Frank Lloyd Wright (1869-1957). Wright se servía de los elementos del clima para el diseño de sus edificios, empleando los avances de la tecnología de la época. En 1937, la construcción de la casa para la familia Jacobs, modelo de vivienda *usoniana* en las que implementa de forma sistemática el empleo de estrategias de diseño bioclimático, supone al mismo tiempo, el primer edificio con calefacción por suelo radiante en Estados Unidos (Banham [1969] 1984).

La calidad estética de la obra de Wright está íntimamente ligada a la inteligencia constructiva de sus edificios y a la búsqueda del confort interior teniendo en cuenta el entorno y la naturaleza.

Para el arquitecto la naturaleza era su fuente de inspiración:

*“I believe in God, only I spell it Nature”*²
(<https://www.guggenheim.org/arts-curriculum/topic/flw-and-nature>)³

² Traducción: “Yo creo en Dios, sólo que lo deletreo Naturaleza”.

³ Cita atribuida a Frank Lloyd Wright que aparece en numerosa bibliografía.

A lo largo de este documento se va a analizar la obra del arquitecto americano, identificando las estrategias empleadas en su obra que hacen de sus edificios un ejemplo a seguir para la arquitectura contemporánea.

3. Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es analizar la arquitectura bioclimática tomando como referencia la obra de Frank Lloyd Wright, y demostrar que el proceso arquitectónico de diseño del arquitecto representa una solución aplicable a la arquitectura actual frente al contexto negativo del cambio climático.

El análisis de la obra residencial del arquitecto y en concreto de la vivienda *usoniana*, tomando como modelo la casa Jacobs I, permite identificar una serie de estrategias de diseño empleadas por el arquitecto de forma sistemática. Se va a demostrar de forma empírica que el empleo de estas estrategias basadas en el clima y la naturaleza influyen de forma positiva sobre el confort térmico interior en los edificios, destacando el valor medioambiental de la arquitectura del arquitecto americano. Su implementación en la arquitectura actual tendrá consecuencias notables en la reducción del consumo energético en el sector de la construcción, sin detrimento del confort interior.

Parece un pensamiento lógico; si la utilización de estrategias bioclimáticas en el diseño arquitectónico reduce el uso de sistemas artificiales, con el correspondiente ahorro energético, debería implementarse en la arquitectura actual de forma sistemática. Estas estrategias emplean directamente las fuentes de energía renovables sin un proceso de transformación, por lo que su empleo no supone un consumo de energía añadido.

A través del análisis de confort mediante los diferentes métodos reconocidos, PMV y el método adaptativo, se observa que el papel de los usuarios es fundamental, y que una mayor implicación a nivel global tendría como consecuencia una mayor aceptación de confort térmico interior con unas temperaturas más flexibles, lo cual se traduce en la disminución de sistemas mecánicos de climatización y un ahorro energético.

A lo largo del documento se plasma la relación del arquitecto con la naturaleza. Wright consideraba esta relación como una simbiosis basada en el amor y el respeto. La transposición de dichos principios fundamentales de Wright sobre la arquitectura actual permitiría alcanzar una arquitectura más responsable y además confortable para el hombre que la habita.

4. Hipótesis

Las principales hipótesis de partida son:

1. La arquitectura bioclimática, tomando como referencia la obra de Frank Lloyd Wright, representa una tendencia a implementar en el diseño arquitectónico actual.
2. A través del análisis de su obra residencial se va a demostrar que Wright emplea de forma sistemática estrategias bioclimáticas en su arquitectura.
3. Los resultados formales de su obra están basados, en numerosas ocasiones, en obtener un confort interior para los usuarios.
4. Las estrategias empleadas por el arquitecto en sus diseños y más en concreto en las casas *usonianas*, tomando como modelo la casa Jacobs I, influyen de forma positiva sobre el confort térmico interior.
5. La aplicación de los conceptos promulgados y empleados por Wright sobre la construcción actual de viviendas, que emplea sistemas constructivos más evolucionados, supondría un resultado muy efectivo al apoyarse sobre una base constructiva y tecnológica mucho más avanzada.
6. Wright tenía en cuenta el papel activo de los usuarios en cuanto al confort interior. El análisis de la vivienda Jacobs I demuestra que el confort térmico interior puede alcanzarse a través de estrategias bioclimáticas cuyo efecto se ve favorecido por la capacidad de reacción y la adaptabilidad de los usuarios frente a los cambios de las condiciones térmicas externas.
7. A la hora de aplicar estrategias para alcanzar el confort térmico interior, debe tenerse en cuenta, pues, el papel de los usuarios, cuya implicación no representa un consumo extra de energía.
8. El proceso de diseño del arquitecto americano continúa siendo válido en la actualidad y su teoría puede ser aplicable a la arquitectura actual.
9. Esta ideología, basada en el amor y el respeto por la naturaleza, crea una relación de simbiosis entre el ser humano y el entorno. El ahorro energético o la conservación del mediamiente no eran los objetivos de la obra de Wright, sin embargo, están intrínsecos en el resultado basado en el respeto por la Naturaleza. La transposición de la arquitectura de Wright a la arquitectura actual a través de sus teorías.

5. Metodología

La metodología empleada se basa en 4 etapas:

Etapla 1. Análisis temático

A la vista de las hipótesis planteadas se ha realizado un estudio sobre la arquitectura bioclimática, confort térmico y la figura de Frank Lloyd Wright.

El objetivo de la arquitectura bioclimática consiste en alcanzar un confort adecuado basándose en el clima y el entorno, es decir la naturaleza. A lo largo de este estudio se han consultado fuentes de carácter histórico que han permitido realizar una aproximación cronológica de la arquitectura bioclimática.

Siendo el confort térmico el objetivo a alcanzar, ha sido necesario analizar en qué consiste dicho concepto y qué consecuencias supone alcanzarlo. Se han consultado fuentes con carácter científico y experimental referentes a métodos de análisis del confort térmico y ejemplos concretos ya realizados.

Frank Lloyd Wright se inspiraba en la naturaleza para diseñar sus edificios, obteniendo espacios interiores confortables basándose en los condicionantes del clima y del entorno. El arquitecto dejó numerosa bibliografía escrita y gráfica que han aportado gran información al análisis. Se han consultado fuentes bibliográficas con carácter histórico y experimental de estudios ya realizados que hacen referencia a su arquitectura desde el punto de vista ambiental. La vivienda, a la que Wright denominó *usoniana* por su carácter medioambiental, ha supuesto un estudio pormenorizado.

Etapla 2. Análisis pormenorizado

El arquitecto, con más de 1.000 proyectos y más de 500 edificios construidos, diseñó a lo largo de su carrera alrededor de 300 viviendas (United States Department of the Interior 2003) siguiendo los principios que él denominó vivienda *usosniana*. En su libro *The Natural House* (Wright 1954) describe sus principales características.

El análisis realizado hace un recorrido por la arquitectura residencial del arquitecto americano, demostrando que la relación con la naturaleza ha sido siempre una máxima de su obra. Esta relación se traduce en el empleo de estrategias de diseño condicionadas y basadas en el clima en que edifica sus edificios.

El análisis ha permitido identificar un modelo representativo del conjunto de viviendas, sobre el que realizar la fase de experimentación, la primera vivienda *usoniana* que diseñó para la familia Jacobs, modelo de vivienda para la familia media americana, con un presupuesto reducido. La recopilación de datos históricos y constructivos de la vivienda a través de fuentes escritas y gráficas, ha sido una labor fundamental para la siguiente fase de experimentación. Ha sido de gran interés las crónicas narradas por los propietarios sobre la experiencia de habitar sus viviendas.

Etapas 3. Experimentación.

Esta etapa consiste en la modelización digital y la simulación energética de la vivienda Jacobs I. Se ha construido una primera maqueta detallada empleando el programa *Revit* que muestra la vivienda fiel al diseño de Wright. Esta primera aproximación ha permitido conocer en detalle la vivienda desde el punto de vista constructivo y espacial. A lo largo del documento, se muestran diferentes imágenes con los espacios interiores de la vivienda, y las diferentes fachadas, presentando el tratamiento específico de cada orientación. La problemática encontrada a la hora de exportar la maqueta *Revit* a un programa de simulación energética se narra más adelante.

Para el análisis del comportamiento de la vivienda se ha empleado el programa *Design Builder* que utiliza el motor de cálculo *Energy Plus* (Design Builder). La identificación de los elementos de diseño bioclimático de la etapa anterior ha servido para ponerlos a prueba en esta fase. Así se han realizado simulaciones de diferentes escenarios de la vivienda, lo que va a permitir valorar y cuantificar la influencia de estos elementos sobre el confort térmico interior tomando como referencia los resultados de temperatura operativa.

Los resultados obtenidos van a servir para evaluar el confort térmico interior empleando los métodos de evaluación de confort anteriormente estudiados. Dos ideas van a ser analizadas, las estrategias de diseño bioclimáticas empleadas y la confianza en la capacidad de reacción y de adaptación de las personas que habitaron la vivienda a las condiciones climáticas externas para lograr un confort térmico interior.

Etapas 4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

A través del análisis realizado sobre la obra residencial del arquitecto se observa una evolución continua de su arquitectura y queda demostrado que la formalización de sus ideas, es fruto, en numerosas ocasiones, de decisiones basadas en la búsqueda de confort interior.

A través de la simulación de la vivienda, y mediante la comparación de los diferentes escenarios analizados, se demuestra que estas decisiones basadas en la búsqueda de confort realmente representan una influencia positiva sobre el mismo. La comparación de los resultados permite cuantificar esta influencia, lo cual permite valorar su impacto sobre el confort interior de la vivienda.

Como futura línea de investigación, se propone analizar la aplicación de una serie de mejoras constructivas sobre la vivienda con el objetivo de aumentar su eficiencia energética. Comparar la huella de carbono, la energía gris implícita en estas mejoras y el ciclo de vida de la vivienda original tal y como fue diseñada por Wright y la vivienda mejorada. Esta comparación aportará una orientación sobre el equilibrio a encontrar en la aplicación de las estrategias bioclimáticas y los avances de la tecnología que requieren un consumo energético superior.

6. Estructura de la tesis

La estructura de la tesis acompaña la metodología empleada.

El documento se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Introducción que anticipa al lector los objetivos, las hipótesis y metodología empleada en el estudio realizado.

Capítulo II. Análisis temático. Se abordan los temas principales del análisis de la tesis, permitiendo conocer los estudios ya realizados relacionados con los objetivos planteados.

Capítulo III. La vivienda en la obra de Frank Lloyd Wright. La vivienda *usoniana*. Se realiza un análisis de la obra residencial del arquitecto, destacando la vivienda *usoniana*, modelo de vivienda ideal sobre el cual el arquitecto experimentaría durante toda su extensa carrera. El análisis general ha llevado al análisis particular de una de las viviendas tomada como modelo.

Capítulo IV. Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la tipología residencial unifamiliar. Análisis de la casa Jacobs I. Este capítulo comprende la etapa de experimentación. Se describe la metodología aplicada; la simulación digital de la vivienda. Se analizan y se comparan las diferentes simulaciones realizadas. Esta comparación permite cuantificar la influencia de las estrategias bioclimáticas implementadas por el arquitecto en la casa Jacobs I, entendida como modelo representativo de su arquitectura residencial.

Capítulo V. Conclusiones y futuras líneas de Investigación. En este capítulo se aportan las principales conclusiones obtenidas de la investigación que corroboran las hipótesis planteadas. A partir de estas conclusiones se definen una serie de líneas de investigación futuras enfocadas en el análisis de la huella de carbono, de la energía gris embebida en la vivienda y en el ciclo de vida.

Bibliografía. Finalmente se presenta una recopilación de la bibliografía consultada

Anexos. A modo de anexos se presentan los índices de las figuras, tablas, gráficos y gráficas que aparecen en el documento. Se han incluido los resultados obtenidos con el programa *Design Builder* de las diferentes simulaciones analizadas.

CAPITULO II. ANÁLISIS TEMÁTICO

1. Arquitectura Bioclimática

El concepto de Arquitectura Bioclimática es complejo y abarca numerosas connotaciones. En la actualidad este término tan de moda, puede sonar como algo novedoso, pero a lo largo del presente estudio se va a ir diseccionando hasta verificar que la arquitectura bioclimática es simplemente Arquitectura. En los últimos años por razones que se expondrán más adelante, parece que este modo de construir ha sido olvidado originando edificios devoradores de energía, ajenos al entorno, creando ambientes estancos y artificiales, poco agradables y en resumen poco eficientes. Como consecuencia de este derroche energético y económico se ha encendido la alarma en el sector de la construcción.

1.1. Definición de Bioclimático

Para entender el concepto de Arquitectura Bioclimática es necesario en primer lugar definir el término al que hace referencia.

Según Salvador Rivas Martínez, profesor de la Universidad Complutense de Madrid y miembro de la Comisión de Expertos Europeos del Consejo de Europa la bioclimatología es:

"la ciencia ecológica que estudia la reciprocidad entre el clima y la distribución de los seres vivos en la Tierra" (Rivas- Martínez 2004).

El término ecología deriva del griego *oikos*- casa y *logos*-entendimiento, fue utilizado por primera vez por el biólogo alemán Ernst Haeckel en 1878 (Fieldson 2004) y se entiende como la ciencia que estudia los ecosistemas, el mundo como un sistema en equilibrio entre las fuerzas de la Naturaleza en el que ningún ser vivo existe aislado. La inestabilidad medioambiental está originada por el desequilibrio entre los seres vivos, los recursos naturales y la contaminación.

En 1884, Vladimir Peter Köppen, geógrafo, meteorólogo, climatólogo y botánico ruso de origen alemán publicó la primera versión de su mapa de zonas climáticas, basado en las relaciones entre el clima y la vegetación, en el que se señalaban las temperaturas estacionales, originando como resultado la *Clasificación Climática de Köppen*. En el mapa se identifican 5 climas diferentes en función de las temperaturas y precipitaciones características de éstos, cuyos límites se establecieron teniendo en cuenta la distribución de la vegetación. Esta clasificación ha servido para crear de forma complementaria la agrupación bioclimática, cuyo objetivo es agrupar las regiones de acuerdo con sus requerimientos de confort, para identificar el bioclima con estrategias de diseño arquitectónico, entendiendo por bioclima, cada uno de los tipos de clima que se distinguen, atendiendo a factores climáticos que afectan al desarrollo de los seres vivos (Neila 2004).

El adjetivo bioclimático hace, pues, referencia a aquello referido a la relación existente entre clima y seres vivos, considerándola la base de todo lo que se considera bioclimático, incluyendo la arquitectura.

1.2. Relación Arquitectura y Clima

El objetivo primero y básico de la arquitectura es crear un refugio frente al clima en el que el hombre pueda desarrollar sus actividades en las mejores condiciones físicas y sociales posibles. Un buen ejemplo de ello, es el mito de la Cabaña Primitiva (Laugier 1753), que tan bien ilustró Marc Antonio Laugier, mostrando la arquitectura como refugio del clima para el hombre (Figura 1). De lo anterior expuesto se deduce que la arquitectura está fuertemente condicionada por el clima. La solución arquitectónica dependerá del entorno climático y se ayudará de sus condicionantes para favorecer las características del ambiente interior. De esta forma se establece una relación natural de simbiosis entre arquitectura y clima.

Figura 1. La Cabaña Primitiva (Laugier 1753)

En la década de los años 60 el término *bioclimático* fue empleado por primera vez asociado a la arquitectura, por el arquitecto americano de origen húngaro Victor Olgyay. Según Olgyay se entiende por bioclimático:

"... a perspective of viewing the relationship between climate and humans, which is associated with human comfort in a built environment and in the surrounding natural environment" (Olgyay 1963).⁴

En su libro *Arquitectura y Clima*, 1963, afirma que lo lógico sería trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas, aprovechando sus potenciales para crear un confort interior más adecuado. De lo cual se traduce un respeto por el medioambiente (Olgyay 1967).

⁴ Traducción: "...una perspectiva de ver la relación entre el clima y los humanos, asociada al confort humano en los edificios y en el entorno natural."

El centro de la arquitectura, bioclimática, es pues, el usuario. Su objetivo principal es diseñar un microcosmos de confort interior tanto físico como psicológico adecuado a él y a las actividades que se van a desarrollar, tomando como referencia el medioambiente que le rodea y en relación de simbiosis con la Naturaleza, de acuerdo a las ideas de Olgyay. De sobra es sabido, que las condiciones óptimas de confort interior no siempre coinciden con las condiciones climáticas exteriores. Es en este momento, en el que la arquitectura (bioclimática), ayudándose del clima, y a través de una serie de estrategias, consigue alcanzar el ambiente deseado.

Las ideas y estudios de Olgyay, quien establece una estrecha relación entre *Arquitectura* y *Clima*, parecen lógicos y plenamente vigentes a día de hoy, donde términos como arquitectura bioclimática, sostenible y ecológica son recurrentes y aparentemente novedosos.

A través del análisis cronológico de la arquitectura bioclimática que se presenta en el siguiente capítulo, se comprueba, que, aunque actualmente parezca novedoso, o que el término apareciera por primera vez en los años '60, la arquitectura ha sido desde sus orígenes bioclimática, tal y como la entendemos en la actualidad.

En este sentido encontramos la definición de Arquitectura Bioclimática de Jaime López Asiaín, arquitecto español especialista en arquitectura bioclimática:

"No existe una arquitectura bioclimática, sino la arquitectura, simple y llanamente(...) El bioclima nos ofrece tan solo un conjunto de datos, condicionantes o determinantes, que habrán de tenerse en cuenta en el diseño arquitectónico(...) Esta concepción considera como fundamentos básicos de la arquitectura a tres grandes aspectos: el lugar, la historia y la cultura." (López Asiaín 2001, 48)

1.3. Análisis Cronológico de la Arquitectura Bioclimática

1.3.1. Inicios

- **Primeros Asentamientos**

En la edad de piedra, la especie humana creaba ambientes en función del clima, el terreno y los materiales que encontraba a su alcance, con el objetivo de construir un refugio y de protegerse de las inclemencias meteorológicas. Conceptos como aislamiento, orientación, situación, tan de moda en la actualidad, datan de los tiempos de la prehistoria y siguen representando los principios del diseño bioclimático actual.

Del mismo modo encontramos, hacia el año 3000 A. C., edificaciones que emplean técnicas de acondicionamiento pasivas que favorecen el confort interior de los edificios, como principios de ventilación y calefacción naturales empleando fuentes de energías renovables, el sol, el viento, el agua. Por citar un ejemplo, ya en esa época, mercaderes sirios empleaban las técnicas del aire acondicionado mediante la evaporación de agua rociada (Stojic y Stankovic 2009, 135-144).

- Arquitectura Solar en la Antigua Grecia

En la Antigua Grecia el uso de la energía solar era empleado como técnica pasiva para calentar las viviendas. Construían sus viviendas orientadas al sur de forma que aprovechaban los rayos del sol para calentar el ambiente en invierno (Figura 2). Jenofonte cita cómo Sócrates definía el sistema de la casa de la siguiente forma:

"En las casas orientadas al sur, el sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que en verano, el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado de manera que hay sombra" (Jenofonte)

Figura 2. Reconstrucción de una casa griega clásica, de las excavaciones de Theodore Wiegand en la ciudad de Priene. Las habitaciones tras el pórtico se abrían al sur del patio (López de Asiaín 1996).

- Vitruvius S. I Roma

Los primeros escritos que se han encontrado que hablan sobre la relación entre arquitectura, naturaleza y medioambiente corresponden al Tratado de Arquitectura escrito por el arquitecto romano Vitruvius en el S. I, *De Architectura* (Fieldson 2004). Dentro del Libro VI, el capítulo titulado *El clima como determinante del estilo de la casa* afirma:

"Si nuestras casas particulares han de ser correctas, debemos, desde el comienzo, tomar nota y considerar las circunstancias de países y climas en los que se construyen. Un estilo de casa parece apropiado si ha de ser construida en Egipto, otro en España, otro diferente en el Ponto, otro también diferente en Roma y así sucesivamente en terrenos y países de otras características" (Vitruvius [1914] 1973)

Como prueba de esta estrecha relación entre arquitectura y clima es que se encuentran a lo largo del planeta soluciones arquitectónicas parecidas formalmente en lugares geográficamente y de culturas distantes, pero con características climatológicas similares, es decir, respondiendo a los mismos parámetros climáticos. Por citar un ejemplo, tipologías de viviendas enterradas construidas en Túnez son muy similares a aquellas construidas en las zonas desérticas de China, dos zonas separadas geográfica y culturalmente, pero con un punto en común, el clima. (Coch 1998, 67-87).

Figura 3. Vivienda Yagua en la Amazonía, América (Coch, 1998,72).

Figura 4. Vivienda en Malasia, Asia (Coch, 1998,72).

1.3.2. Continuidad. Arquitectura Vernácula y Arquitectura Representativa

Este tipo de arquitectura, tradicional y fuertemente ligado al medioambiente, al entorno y a sus habitantes, recibe el nombre de Arquitectura Vernácula. Representa un modo de construir que responde directamente a las necesidades de habitar optando por aquellas soluciones que mejor se adapten al medio empleando sistemas constructivos tradicionales basados en la experiencia y utilizando materiales locales.

A través del estudio de la historia de la arquitectura se puede apreciar cómo la arquitectura vernácula tradicional, debido a la falta de tecnología y medios para alcanzar el confort interior adecuado se veía obligada a planificar sus edificios en función del clima y del entorno en el que se construían, es decir, siguiendo principios bioclimáticos como entendemos hoy en día. Se deduce, por tanto, que la arquitectura vernácula se incluye dentro de la arquitectura bioclimática (Zhai y Previtali 2010, 357-365).

En este sentido se encuentra el trabajo de Helena Coch (1998) *Bioclimatism in vernacular architecture* en el que muestra numerosos ejemplos arquitectónicos para cada tipo de clima. Como ejemplo característico de este tipo de arquitectura, la autora señala el iglú para climas fríos, que emplea sistemas de acondicionamiento pasivos para alcanzar el confort interior deseado (Figura 5 y Figura 6).

Figura 5. Esquema de comportamiento térmico de un iglú (Velasco 2011).

Figura 6. Imagen de la construcción de un iglú. Fotografía de autor desconocido.

Coch (1998) enaltece la riqueza de esta forma de construir frente a la arquitectura representativa, cuyo objetivo suele ser el de impresionar al hombre dominando, y en numerosas ocasiones incluso destruyendo, el entorno en que se edifica, creando ambientes artificiales. Esta misma disertación se experimenta en la arquitectura contemporánea representativa: los edificios de oficinas. Con una construcción en la que predominan sofisticados sistemas constructivos y grandes fachadas acristaladas, responden a espacios interiores en numerosas ocasiones ajenos al ambiente exterior y completamente dependientes de sistemas acondicionamiento artificiales (Figura 7 y Figura 8).

Figura 7. Ejemplos de edificios representativos de la arquitectura contemporánea. Las 4 torres de la Castellana (Madrid, España). Fotografía del autor.

Figura 8. Ejemplos de edificios representativos de la arquitectura contemporánea: Mediateca André Malraux (Estrasburgo, Francia). Fotografía del autor.

Pero a lo largo de la historia, queda demostrado que también la arquitectura representativa del pasado se planificaba siguiendo principios de diseño bioclimáticos. Edificios como la Villa Rotonda, de Andrea Palladio, edificado a las afueras de Vicenza, Italia, en 1556, consta de un inteligente sistema de refrigeración natural (Figura 10). De planta central, fue construido en lo alto de una colina expuesto a los vientos dominantes. La sala central queda abierta en sus cuatro lados por grandes puertas protegidas de la radiación solar por unos pórticos profundos. En verano, las brisas atraviesan este espacio, refrescándolo, mientras que, en las horas calurosas, la extracción inducida por la linterna de la cúpula central succiona el aire fresco de los sótanos del basamento del edificio, entrando a la sala a través de la losa perforada que se encuentra en el centro de la misma (Velasco 2011).

Figura 9. Villa Rotonda de Andrea Palladio. Imagen de la villa en lo alto de la colina. Fotografía de autor desconocido.

Figura 10. Villa Rotonda de Andrea Paladio. Esquema de funcionamiento de la ventilación natural (Velasco 2011).

1.3.3. ¿Cuándo y por qué la Arquitectura dejó de seguir principios de diseño bioclimáticos?

- La Revolución Industrial (Segunda mitad S. XVIII)

A lo largo del S. XVIII, los rápidos avances tecnológicos en la industria y el ferrocarril favorecen un urbanismo descontrolado donde las grandes masas de gente y las grandes fábricas industriales cohabitan caóticamente. En Inglaterra, y como consecuencia de esta situación de insalubridad, comienzan a desarrollarse normativas e investigaciones a favor de mejorar las condiciones de salubridad en la ciudad y en las viviendas. Dichas investigaciones culminaron, entre otras, con el desarrollo de sistemas mecánicos de climatización.

Figura 11. Imagen representativa de la vida en la ciudad en el S. XIX. Fotografía de autor desconocido.

Durante los siglos XIX y XX, los nuevos avances como la luz artificial y el acondicionamiento mecánico fueron introduciéndose en la planificación de los edificios mejorando las condiciones de confort interior (Velasco 2011). Pero su empleo sistemático tanto en la industria como en la construcción hicieron disparar el consumo energético (Stojic y Stankovic 2009, 135-144).

Al tener la capacidad de crear ambientes adecuados en términos de confort interior de forma artificial, se dejó de pensar en el medioambiente como base del diseño arquitectónico. Se impuso el principio del *todo vale*. Así como en la arquitectura vernácula, tradicional y anterior a la revolución industrial, la orientación en el diseño era un parámetro primordial, con la ayuda de las máquinas dejó de serlo. De esta forma, la arquitectura comenzó a ser independiente del entorno, pudiendo encontrar una tipología de edificio válida para un determinado entorno y clima, en otro con parámetros climáticos dispares, y que a priori no sería la más apropiada, pero, sin embargo, a través de la instalación de un buen sistema de acondicionamiento artificial, el confort interior

*deseado*⁵ es alcanzado. Esta emancipación de la arquitectura frente al entorno, ha seguido implantándose en la actualidad sin recelo, creando imágenes urbanas con tipologías edificadas similares en lugares con climas tan dispares como Londres o Dubai, por citar un ejemplo.

A continuación, se muestran dos imágenes del *sky-line* de dos ciudades con climas muy diferentes, incluso dispares, que, sin embargo, presentan arquitecturas muy similares, empleando los mismos materiales y sistemas constructivos (Figura 12 y Figura 13).

Figura 12. Vista de la City de Londres (Inglaterra). Fotografía de autor desconocido.

Figura 13. Vista del *sky-line* de Dubái (Emiratos Árabes Unidos). Fotografía de autor desconocido.

La sucesión de innovaciones tecnológicas en otros órdenes de la arquitectura provocó el paulatino abandono de los criterios bioclimáticos de diseño.

Pero cabe preguntarse cuál es el problema de los edificios con ambientes creados de forma artificial si el confort interior alcanza las condiciones deseadas. Por un lado, un elevado consumo energético consecuencia de los sistemas mecánicos instalados y la amenaza sobre el medioambiente. Y, por otro lado, numerosas investigaciones demuestran que la calidad del ambiente creado de forma natural es discutible. En los últimos años, numerosos estudios se realizaron para valorar la satisfacción de los usuarios, concluyendo que el ambiente creado gracias a sistemas naturales produce mayor satisfacción que aquél resultante de sistemas artificiales (Gou, Prasad y Siu-Yu Lau 2013, 156-161). Estos temas serán discutidos más adelante.

- *Arts & Crafts* (Segunda mitad S. XIX)

Pero la idea del uso indiscriminado de los avances industriales como solución para resolver el problema de salubridad y confort interior en la vivienda no era compartida por todos. Tanto el trabajo de William Morris como los escritos de John Ruskin, precursores del movimiento *Arts & Craft* en Inglaterra, presentan numerosas referencias al medioambiente y los daños potenciales de la industrialización. A finales del S. XIX, Ruskin ofrecía una idea de lo que actualmente se entiende por sostenibilidad:

⁵ Deseado aparece entre comillas, pues el autor quiere remarcar que el confort interior deseado no es siempre el adecuado.

*"Yet those are not the less our duties; nor is our part fitly sustained upon the earth, unless the range of our intended and deliberate usefulness include, not only the companions but the successors of our pilgrimage. God has lent us the earth for our life..."*⁶ (Farmer 1996). Autor: John Ruskin.

Este movimiento arquitectónico derivado del Romanticismo está fuertemente asociado a los primeros movimientos ecologistas y sirvió de inspiración a la arquitectura orgánica de Frank Lloyd Wright (Pepper 1984 citado en Fieldson 2004).

Figura 14. Red House, Philip Webb (Londres, Inglaterra, 1859). Arquitectura *Arts & Crafts*. Fuente Wikipedia 01-09-2014. Fotografía autor desconocido.

- Arquitectura Orgánica (Primera mitad S. XX)

La Arquitectura Orgánica desarrollada durante la primera mitad del S. XX proclama la relación intrínseca de la arquitectura y el medioambiente en que se encuentra, promulgando una orientación óptima para lograr el confort térmico y lumínico deseado, la utilización de materiales en su estado natural y locales, el uso de sistemas de climatización naturales frente a los novedosos sistemas mecánicos. En resumen, principios de diseño bioclimáticos, con el objetivo de mejorar el confort interior y el bien estar de los usuarios. El precursor de esta arquitectura fue el arquitecto norteamericano Frank Lloyd Wright.

Figura 15. La casa de la Cascada, Frank Lloyd Wright (Mill Run, Pensilvania, EE. UU, 1939). Fotografía del autor.

- Movimiento Moderno (1920-1960)

Mientras, en Europa, durante el período entreguerras, comenzaba a gestarse el Movimiento Moderno, cuyo máximo exponente es Le Corbusier (1887-1965). En sus escritos, Le Corbusier hace referencias a la relación entre arquitectura y clima, y realiza numerosos estudios del soleamiento (Requena 2011). Tanto los análisis plasmados en las cartas solares como las experiencias constructivas del *briese-soleil* como protección de la radiación solar, han aportado una importante contribución a la arquitectura sostenible actual.

Figura 16. Villa Shodhan de Le Corbusier (Ahmedabad, Gujerat, India, 1951-56) ejemplo de briede soleil. Fotografía de autor desconocido.

Figura 17. Villa Mairea de Alvar Aalto (Noormarkku, Finlandia 1937-39) (Alvar Aalto Houses 2005).

Otro arquitecto a destacar dentro del Movimiento Moderno es Alvar Aalto (1898-1976). Siguiendo la corriente organicista de Frank Lloyd Wright, su arquitectura se basa en la naturaleza. En contraposición a Le Corbusier, Aalto declara:

*"Nature not the machine should serve as the model of architecture"*⁷

⁷ Traducción: *"La Naturaleza y no la máquina debe servir de modelo para la arquitectura"*
<http://www.iie.org/en/Offices/New-York/about-alvar-aalto>.

Temas como la implantación del edificio y su relación con el entorno representan una constante a lo largo de su obra. Su arquitectura se caracteriza por una preocupación especial por la iluminación natural, el empleo de materiales naturales, la vegetación, y por supuesto por el ser humano al que sirve.

En este sentido encontramos el estudio que analiza desde el punto de vista bioclimático la vivienda experimental en Muuratsalo (Finlandia, 1952-53) (Guimaraes 2007).

En España, los estudios realizados por Josep Lluís Sert (1902-83) sobre arquitectura vernácula, quien consideraba las condiciones geográficas y ambientales determinantes para el desarrollo de su arquitectura (Sert 1982, 77) y por Francisco Javier Sáenz de Oíza (1918-2000) sobre salubridad, ambos enfocados en mejorar el confort interior en los edificios, favorecieron la relación entre la arquitectura y la naturaleza.

- Movimientos Ecologistas (década de los años 60)

En Estados Unidos, durante los años sesenta, inspirados en la protesta contra la sociedad de consumo capitalista, surgen los primeros movimientos ecologistas, que se tradujeron en arquitectura con una ruptura con los avances tecnológicos impuestos, y una mirada hacia la arquitectura ligada a la naturaleza.

Este movimiento estuvo influenciado por la arquitectura vernácula de arquitectos como el egipcio de Hassan Fathy (1900-89) cuya arquitectura está condicionada por las características del entorno. (Fathy 1986),

Un ejemplo de este tipo de arquitectura lo encontramos en el conjunto edificado de Arcosanti, (Figura 18) (Arizona, 1970-), diseñado por Paolo Soleri (1919-2013), discípulo de Frank Lloyd Wright.

Figura 18. Complejo edificado de Arcosanti de Paolo Soleri (Arizona, EE. UU, años '70). Fotografía de autor desconocido.

1.3.4. ¿Cuándo y por qué la Arquitectura quiso volver a seguir principios de diseño bioclimáticos?

- Crisis del petróleo (1973)

En 1973, tras la crisis del petróleo, comienza a existir una nueva conciencia de ahorro energético debido al incremento desorbitado del precio del barril de petróleo. Pero este ahorro energético supuso, en numerosas ocasiones, que se diseñaran edificios cada vez más estancos para minimizar la pérdida de energía. A priori, esta medida parecía resolver el problema, pero tuvo como consecuencia la disminución de la calidad de aire interior, originando nuevas enfermedades en los usuarios, lo que en la actualidad es conocido como el Síndrome del Edificio Enfermo (Kumar, Sinha y Kumar 1996, vol. 39, 441-444). Empezaron como consecuencia a desarrollarse normativas y sofisticados sistemas de ventilación mecánica que consumían a su vez gran cantidad de energía, lo cual lógicamente suponía un contrasentido.

- Brundtland Report (1987)

Este movimiento de ahorro energético se ve reforzado por el *Brundtland Report*, en 1987, desarrollado en la *World Commission on Environment and Development*, en el que además de la preocupación por el derroche energético se ponen de manifiesto el calentamiento global del planeta y la conservación del medioambiente (Brundtland 1987). Tanto la conciencia de ahorro energético generada tras el choque petrolífero como el resultado del *Brundtland Report*, vienen generados por razones económicas, como expresó en la *World Commission on Environment and Development* Charles Caccia:

"How long can we go on and safely pretend that the environment is not the economy, is not health, is not the prerequisite to development, is not recreation? Is it realistic to see ourselves as managers of an entity out there called the environment, extraneous to us, an alternative to the economy, too expensive a value to protect in difficult economic times? When we organize ourselves starting from this premise, we do so with dangerous consequences to our economy, health, and industrial growth. (8) We are now just beginning to realize that we must find an alternative to our ingrained behaviour of burdening future generations resulting from our misplaced belief that there is a choice between economy and the environment. That choice, in the long term, turns out to be an illusion with awesome consequences for humanity" (Caccia 1986).⁸

⁸ Charles Caccia (1930-2008) político canadiense. Traducción: "¿Hasta dónde podemos llegar pretendiendo que el medioambiente no es economía, ni salud, ni un prerequisite para el desarrollo, ni recreación? ¿Es realista vernos a nosotros mismos como gerentes de una entidad llamada medioambiente, extraña para nosotros, una alternativa a la economía, demasiado valiosa para proteger en momentos difíciles? Cuando nos organizamos comenzando por esos principios, lo hacemos con unas consecuencias peligrosas para nuestra economía, nuestra salud y el crecimiento industrial. Estamos empezando a darnos cuenta que debemos encontrar

Charles Caccia pone de manifiesto el paralelismo entre el medioambiente y la economía, afirmando que el Medioambiente representa la Economía.

La conciencia de conservación del medioambiente y el ahorro energético que venían gestándose desde los años sesenta, se tradujeron en dos tendencias de pensamiento arquitectónico opuestas que tienen como resultado metodologías de diseño diferentes. Tomando la clasificación realizada por David Lloyd Jones (Lloyd 1998, 11 citado en Fielson 2004, 30) existen las siguientes tendencias:

- *Cultural-fix*, tendencia ecologista que aboga por un cambio en la cultura y en la actitud de la sociedad como requisito a priori, incluso si éste se produce a través de reglamentaciones impuestas.

- *Techno-fix*, tendencia tecnologista, que ve en la tecnología la respuesta a los problemas ocasionados al medioambiente, independientemente de la evolución de la sociedad. Siguiendo esta corriente aparece el movimiento arquitectónico *High-Tech* originario de los años 50 de Norman Foster, Renzo Piano y Richard Rogers.

Siguiendo los ideales de la escuela *cultural-fix* y los movimientos ecologistas de la segunda mitad del S. XX se produce como respuesta al problema del despilfarro energético y la conservación del medioambiente, una tendencia hacia una revisión de la arquitectura del pasado. En esta revisión aparece lo que en la actualidad se conoce como arquitectura bioclimática, entendida como aquella que tiene en cuenta los condicionantes del clima y el entorno, es decir, la naturaleza, en el diseño arquitectónico para lograr el confort interior adecuado al usuario. La relación con la naturaleza se produce a través del respeto, sin abusar de ella. Sistemas de construcción pasivos que ya eran empleados en la arquitectura anterior a la revolución industrial, como el uso de técnicas de control solar, control de pérdidas y ganancias de calor, ventilación natural, comienzan a generar gran interés entre los arquitectos contemporáneos (Larasati y Mochtar 2004 y Santamouris y Kotokotsa 2013, 74-94). Se puede destacar la obra del arquitecto malasio Ken Yeang, quien aplica principios de arquitectura bioclimáticos a la construcción de edificios de gran altura (Yeang 1996).

Los arquitectos influenciados por esta tendencia encuentran el problema de cómo traducir de forma tangible que las soluciones que ellos proponen responden adecuadamente al problema del medioambiente. En un intento de conciliar el conflicto entre economía y medioambiente, en los años 70 y con el fin de aumentar el valor de este último, comenzaron a considerarse los problemas medioambientales en términos económicos. Uno de los sistemas de valorar las soluciones arquitectónicas es a través del cálculo de la eficiencia energética de los mismos, que mide consumos en términos energéticos y económicos.

una alternativa a nuestro comportamiento tan desagradecido cargando sobre futuras generaciones como resultado de nuestra convicción inapropiada de que existe una elección entre economía y medioambiente. Esa elección a largo plazo, resulta ser una ilusión con valiosas consecuencias para la humanidad"

Comienzan entonces a aparecer numerosas investigaciones que comparan en términos de eficiencia energética edificios diseñados siguiendo principios bioclimáticos con edificios convencionales (Gaitani, Mihalakakou y Santamouris 2007). Los datos que se obtienen corroboran que los edificios que siguen principios bioclimáticos son más eficientes que aquellos que fueron diseñados ignorando el clima y el entorno (Albatici y Passerini 2011). Además de la eficiencia energética, la medición del confort interior de los usuarios es tomada en cuenta. Numerosas investigaciones referentes a este ámbito lo concluyen (Holopainen et al. 2014, 60-70).

Coincide que, además de ser más eficientes, gracias a su diseño bioclimático, los ocupantes de un edificio ventilado de forma natural, como demuestra el estudio sobre la adaptación térmica en los edificios, son más tolerantes frente a los cambios de temperatura que los ocupantes de los edificios ventilados de forma artificial, lo cual supone una reducción extra del consumo energético (Brager y de Dear 1997, 83-96). Conviene añadir que el grado de satisfacción entre los usuarios de edificios bioclimáticos es más elevado que el de los usuarios de edificios convencionales (Warren y Taylor 2008).

Importantes son las aportaciones realizadas por Baruch Givoni (1998) en relación a la ventilación natural en arquitectura. Sus investigaciones se centran en demostrar que mediante sistemas de ventilación natural se puede disminuir notablemente la temperatura interior de un edificio, reduciendo y en muchos casos evitando la instalación de un sistema de acondicionamiento mecánico y su correspondiente ahorro energético y económico (Givoni 2009). Gracias a estas y otras muchas investigaciones, cada vez son más numerosos los edificios que siguiendo principios bioclimáticos en su diseño se planifican con ventilación natural, dejando la ventilación mecánica como apoyo (cuando de forma natural no es posible alcanzar las condiciones de confort interior deseadas).

Estudios realizados en edificios construidos en países en desarrollo, donde, por la escasez de medios y de tecnología, la arquitectura moderna se encuentra más próxima a la arquitectura vernácula y tradicional que en países desarrollados, corroboran estas teorías. El peligro se encuentra cuando estos países tratan de copiar la arquitectura de los países desarrollados, que suponen en numerosas ocasiones, tipologías que no tienen en cuenta las características de su entorno, con un grado de consumo y mantenimiento elevados, inapropiados a sus tecnologías (Brager y de Dear 1997, 83-96).

1.3.5. Situación actual

La construcción supone un 40% del total de la energía consumida y contribuye en un 30% en las emisiones de CO₂ (International Energy Agency 2015, Comisión Europea 2012). Una gran proporción de esta energía es empleada en alcanzar el confort térmico interior. Estos datos están llevando a realizar numerosas investigaciones dirigidas a mejorar la eficiencia energética en los edificios, por ejemplo, en el diseño y construcción de fachadas, aumentando el espesor de aislamiento; en el análisis del ciclo de vida; en el análisis técnico y económico de la eficiencia energética en edificios

existentes y en la renovación del parque construido; y en lo que se refiere al control de las instalaciones. Punto fundamental, ya que una gran parte de la energía consumida por el sector de la construcción se debe a las instalaciones de climatización e iluminación. (Nematchoua et al. 2014, 687-699). Como consecuencia, durante los últimos veinte años se han ido desarrollando diferentes sistemas de clasificación de edificios sostenibles, protocolos, guías y estándares que responden a la necesidad de evaluar y definir los niveles de sostenibilidad en la construcción.

A continuación, se presenta la Tabla 1 con las principales certificaciones y estándares de sostenibilidad existentes.

FECHA	PAÍS	NOMBRE	
1990	UK	BREEAM	
1990	ALEMANIA	PASSIV HAUS	primer edificio construido con estándar Passiv Haus
1996	FRANCIA	HQE	Haut Qualité Environnemental
1998	USA	USA LEED	Leadership in Energy and Environment Design
1998	SWISS	MINERGIE	
2000	CANADA	GREEN GLOBES	Para edificios existentes
2001	JAPÓN	CASBEE	Comprehensive Assesment System for Building Environmental Efficiency
2002	AUSTRALIA	GREEN STAR	
2004	CHINA	HK-BEAM	Hong Kong Building Environmental Assesment Methods
	CHINA	GBL	Green Building Label

Tabla 1. Certificaciones y estándares de sostenibilidad. Tabla elaborada por el autor.

De la misma manera, las administraciones públicas están introduciendo a través de la redacción y revisión de las normativas y reglamentaciones nuevos requisitos de sostenibilidad a alcanzar en el ámbito de la construcción en los años futuros.

A nivel europeo, se ha redactado la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (*Directive Européene efficacité Energétique* [2012] 2016), que requiere que los edificios nuevos construidos a partir del 31 de diciembre del año 2020 sean Edificios de Consumo Energético Casi Nulo, *Nearly Zero Energy Buildings (NZEB)*, y a partir del 2018 para aquellos de titularidad pública. La Directiva define "edificio de consumo de energía casi nulo" de la siguiente manera:

"edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy

baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno."
(Directive Européenne efficacité Energétique [2012] 2016).

Para el cumplimiento de dicha directiva, los países miembros deben establecer un plan de acción.

En España se ha redactado el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (MIET 2014), versión 30 de abril 2014, en el que se establecen las primeras medidas y actualizaciones normativas para alcanzar los requisitos de Edificios de Energía Casi Nulo (NZEB):

- Actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de los edificios, estableciendo la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética.

En Francia se ha desarrollado el *Plan d'action de la France en matière d'efficacité énergétique – 2014*⁹ (Commission Européenne 2015).

- Revisión de la Reglamentación Térmica, *Réglementation Thermique, RT 2012* reforzando las exigencias relacionadas con la eficiencia energética de los edificios nuevos (*Réglementation thermique 2012*).

Siguiendo un camino paralelo, en Estado Unidos, a través de la *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, (ASHRAE 90.1-2013) (www.ashrae.org) se determinan nuevos requerimientos mínimos en términos de eficiencia energética en edificios, exceptuando los de uso residencial de baja densidad.

En China en el año 2005, se desarrolla el *Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings* (www.gbpn.org) que incluye iniciativas para la mejora de eficiencia energética como la ventilación natural, control del aporte solar, pero con carácter de aplicación voluntario.

⁹ Traducción: Plan de Acción de Francia en materia de eficiencia energética 2014.

- El auge de las Energías Renovables

Tanto las diferentes certificaciones como las nuevas reglamentaciones favorecen, premian y en numerosas ocasiones obligan al empleo de fuentes de energías renovables en la construcción, reemplazando las fuentes de energía convencionales.

Antes de la Revolución Industrial la energía que se utilizaba era en su mayor parte renovable. Durante los siglos XIX y XX, el uso del petróleo se extendió de forma global. No fue hasta los años setenta, a raíz de la crisis petrolífera, vinculada con la voluntad de independencia de los países productores de petróleo, cuando comenzó a potenciarse de nuevo el uso de energías renovables.

Gracias al avance de la tecnología de los últimos años, el empleo de fuentes de energía renovables es más eficiente y supone una realidad viable. En la actualidad, en España, alrededor del 16%¹⁰ (Eurostat 2016) de la energía global consumida proviene de fuentes de energía renovables.

En la actualidad, la tendencia en la construcción va dirigida hacia un aumento del empleo de fuentes de energía renovables, lo que supone una reducción del consumo de energía fósiles. Al mismo tiempo, los avances de la tecnología se dirigen a diseñar instalaciones, materiales y sistemas constructivos más eficientes, que requieran menor cantidad de energía y en la medida de lo posible, procedente de renovables, lo que implica una reducción de la demanda energética del edificio.

Siguiendo este camino e influenciados por modelos de diseño de edificios de bajo consumo, como el Pasiv Haus¹¹ alemán, aparecen nuevos conceptos como Edificios de Energía cero, *Zero Energy Buildings (ZEB)*¹² (<http://energy.gov>) y Edificios de Energía Positiva, *Energy-Plus-Buildings (EPB)*¹³ (<http://en.wikipedia.org/wiki/PlusEnergy>). En los primeros el balance de energía consumida y energía producida por el edificio es prácticamente cero y en el segundo el edificio produce mayor energía que la que

¹⁰ Datos difundidos por Eurostat.

¹¹ Estándar alemán enfocado a la eficiencia energética basado en el aislamiento térmico, riguroso control de las infiltraciones de aire y ventilación mecánica con recuperador de calor. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de Consumo Energético casi Nulo, Plataforma Edificación Passivhaus y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

¹² Edificio de Energía Cero (ZEB): “*a zero-energy building produces enough renewable energy to meet its own annual energy consumption requirements, thereby reducing the use of non-renewable energy in the building sector*”. Traducción: “*Un edificio de Energía Cero produce suficiente energía a través de fuentes de energía renovables para alcanzar la demanda de consumo energético anual, de esta forma, se reduce el empleo de energías no renovables en el sector de la construcción*”.

¹³ Edificios de Energía Positiva, EPB: “*An energy-plus house (also called: Plus-Energy House, Efficiency-Plus House) produces more energy from renewable energy sources, over the course of a year, than it imports from external sources*”. Traducción: “*Edificio que produce más energía procedente de fuentes de energía renovables a través de un año que aquella que importa de la red*”.

consume, cediendo el exceso a la red eléctrica a la cual está conectado. La producción de energía se realiza a través de fuentes de energías renovables.

Un ejemplo de *ZEB* es el desarrollo urbano de *BEDZED*, un barrio próximo a Londres (Inglaterra), cuya construcción tuvo lugar en 2002. El proyecto fue diseñado empleando sólo energía de fuentes renovables producidas in situ (<http://www.zedfactory.com/bedzed>).

En la actualidad, los edificios *ZEB* son una realidad. En centro Europa y sobre todo en Alemania se encuentran numerosos ejemplos, como el edificio *Licht+Luft* en Tübingen (Alemania) que integra paneles fotovoltaicos en su fachada y un aislamiento térmico muy eficaz compuesto por paneles aislantes al vacío, *VIP*, *Vacuum Insulated Panels* (Figura 19).

Figura 19. Edificio *Licht + Luft* ejemplo de *ZEB* (Lunstnau, Tübingen, Alemania, 2014). Fotografía del autor.

Pero investigaciones recientes centradas en los *ZEB* hacen una llamada de atención a conceptos como ciclo de vida e impacto ambiental. Un edificio puede llegar a tener un balance energético nulo, y ser el impacto ambiental generado por la construcción del mismo elevado. Es decir, puede ser un buen ejemplo de eficiencia energética, pero por el contrario no serlo de construcción sostenible.

Aparece así un nuevo término *Life Cycle Zero Energy Building*, *LC-ZEB*,¹⁴ (Li, Yang y Lam 2013, 6), en el que el total de energía consumida por el edificio para su funcionamiento sumada a la energía gris del conjunto del edificio no excede la energía producida a través de las renovables durante la vida útil del mismo. Será necesario encontrar un equilibrio entre la demanda energética, la energía gris y la energía producida, favoreciendo la reducción de impacto ambiental.

Hoy en día, siguiendo el concepto de balance energético nulo, se centran numerosas investigaciones como es el caso del proyecto *VALERIE* (*Valorisation par l'enveloppe du bâtiment des ressources énergétiques immédiatement exploitables*)¹⁵ (Duforestel et al.

¹⁴ Traducción: Ciclo de Vida-Edificio de Energía Cero.

¹⁵ Traducción: “Valorización de la envolvente del edificio de recursos energéticos inmediatamente explotables”

2012). A lo largo del proyecto queda demostrado que el potencial del rendimiento energético implícito en el medioambiente del cual puede aprovecharse un edificio, es gigantesco, pero no está siendo explotado de forma adecuada en la construcción. Se verifica que, a través de una buena concepción bioclimática, el edificio puede ser autosuficiente para suplir las necesidades de calefacción y ventilación, afirmando que el futuro de la eficiencia energética reside en la explotación del medioambiente. Sin considerar explícitamente la energía gris del edificio, la aproximación del proyecto *VALERIE* puede parecer a priori una opción energéticamente más austera que los edificios tecnológicos resultantes de la tendencia *LC-ZEB*. En este sentido se puede apreciar la tendencia *ecologista* del proyecto *VALERIE* y la *tecnologista* de *LC-ZEB* de la que habla David Lloyd. Estando las dos dentro del marco de la arquitectura sostenible.

1.4. Arquitectura Ecológica, Bioclimática y/o Sostenible

En el análisis realizado han aparecido los términos arquitectura ecológica, bioclimática y sostenible, haciendo referencia a distintos modos de concebir la arquitectura. En numerosas ocasiones éstos son empleados indistintamente, puesto que están muy ligados entre sí y el resultado arquitectónico puede ser incluso el mismo. A continuación, se tratará de aclarar los términos anteriormente citados, sus objetivos principales, para realizar una justificación de la elección de *Arquitectura Bioclimática* y no *Sostenible* referida a la arquitectura de Frank Lloyd Wright (Maciel, Ford y Lamberts 2007, 3762-3773)

1.4.1. Arquitectura Ecológica

La arquitectura ecológica respeta la biodiversidad y las condiciones naturales de los ecosistemas evitando la contaminación y el impacto negativo del entorno en que se inserta. Analiza el ecosistema en el que se encuentra, así como los efectos que pueda causar, optando por las soluciones más favorables para la conservación de la biodiversidad. Tiene en cuenta aspectos como impacto medioambiental, impacto constructivo resultante de la elección y el empleo de materiales ajenos al entorno. Se analiza tanto el impacto ocasionado al entorno próximo como todo aquel afectado por el proceso constructivo y la elección de materiales.

Un ejemplo de arquitectura ecológica es la obra del arquitecto japonés Shigeru Ban ganador del Premio Pritzker 2014, quien trata de reducir la contaminación y minimizar el impacto medioambiental de sus edificios. Según sus propias palabras:

" I'm not keen for sustainability...I'm not interesting in that... I'm just trying not to waste material and to use locally available material" ¹⁶

¹⁶ Traducción: "No soy un entusiasta de la sostenibilidad...No estoy interesado por ella... Sólo estoy intentando no gastar material y emplear materiales locales." <http://www.treehugger.com/green-architecture/shigeru-ban-wins-pritzker-prize-architectures-top-award.html> (03-06-2014)

1.4.2. Arquitectura Bioclimática

Como ya se ha explicado, el objetivo de la arquitectura (bioclimática) es crear un microcosmos de confort interior adecuado para el usuario tomando como referencia el medioambiente que le rodea y en relación de simbiosis con la naturaleza. Como se ha demostrado en el análisis cronológico realizado, la arquitectura ha sido desde sus orígenes bioclimática, puesto que se basaba en los condicionantes del clima para lograr el confort interior óptimo. Como ejemplo, se pueden citar numerosos, pero durante el S. XX, como se va a demostrar en el siguiente capítulo, uno de los precursores de esta arquitectura lo representa el arquitecto norteamericano Frank Lloyd Wright.

1.4.3. Arquitectura Sostenible

El origen del término Arquitectura Sostenible reside en el concepto de desarrollo sostenible que nace a partir del *Brundtland Report*:

"The sustainable development is one that satisfies the needs of the present generation without compromising the capacity of the future generations to satisfy their own needs" ¹⁷(Brundtland 1987).

Para aclarar el adjetivo referido a la arquitectura, se ha elegido la definición que Justo García Navarro¹⁸ hace de *Construcción Sostenible*:

"Aquella que, desde planteamientos respetuosos y comprometidos con el medioambiente, utiliza adecuadamente el agua y los distintos tipos de energía; selecciona desde el proyecto y aplica eficientemente durante la obra recursos, tecnologías y materiales; evita los impactos ambientales; gestiona los residuos que genera en su ciclo de vida; busca un mantenimiento y conservación adecuados del patrimonio construido; reutiliza y rehabilita siempre que es posible, es rentable y, además y finalmente, resulta más accesible, confortable y saludable"

Así mismo, Justo García Navarro en el editorial de introducción al monográfico que la revista *Informes de la Construcción* de 2010 dedica a la Construcción Sostenible concluye que la respuesta al desarrollo sostenible no resulta tan complicada como parece, pues:

"Y es que tal vez la sensatez haya cambiado de nombre y ahora se llama sostenibilidad" (García 2010).

dando por entendido que la forma de construir de los últimos años y el despilfarro energético han originado una tendencia a lo que en la actualidad se conoce como

¹⁷ Traducción: *"El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades."*

¹⁸ Justo García Navarro es arquitecto y profesor de la Universidad Politécnica de Madrid especialista en Arquitectura Sostenible.

sostenibilidad, siendo, en realidad, una vuelta hacia la sensatez, el sentido común, que ha ido desapareciendo a medida que crecía la fe ciega sobre la tecnología.

Ejemplo de Arquitectura Sostenible es la obra del estudio norteamericano *William McDonough + Partners* (<http://www.mcdonoughpartners.com>), que junto con su filosofía de *Cradle to Cradle*¹⁹ diseña edificios sostenibles, empleando principios de diseño bioclimáticos.

Los tres términos expuestos tienen en común la relación y preocupación por el medioambiente, pero se diferencian en el objetivo principal que los genera. A groso modo, se puede decir que el objetivo de la Arquitectura Ecológica es reducir la contaminación y minimizar el impacto medioambiental; de la Arquitectura Bioclimática, el confort físico y psicológico de los usuarios teniendo en cuenta los condicionantes del entorno, el clima, en que se encuentran respetando la naturaleza. Y el de la Arquitectura Sostenible, la eficiencia energética respetando el medioambiente. A continuación, se presenta Tabla 2, resumiendo los objetivos de los tres términos:

ARQUITECTURA ECOLÓGICA	ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA	ARQUITECTURA SOSTENIBLE
Reducir Contaminación	Obtener Confort Interior óptimo	Eficiencia Energética
Minimizar Impacto Ambiental	Considerar condicionantes del Clima	Respeto por el medioambiente

Tabla 2. Arquitectura Ecológica, Bioclimática y Sostenible; objetivos. Tabla elaborada por el autor

En este sentido, se ha elegido el concepto de Arquitectura Bioclimática para referirnos a la obra de Frank Lloyd Wright, pues el centro de su arquitectura es el confort del usuario basándose el clima. Para ello, toma como fuente de inspiración el entorno, la Naturaleza, con la que establece una relación de respeto y simbiosis. En la arquitectura bioclimática conceptos como ahorro energético, *ZEB*, no son el fin sino el resultado intrínseco de la aplicación de sus principios para lograr el objetivo final que es el bienestar del usuario, en todos sus sentidos y en armonía con la naturaleza.

¹⁹ Traducción: “De la cuna a la cuna”. Libro publicado en 2002 por Michael Braungart y William MC Donough que propone una nueva forma de interpretar el ecologismo, teniendo en cuenta todas las fases de producción de un producto o material.

2. Confort Térmico

El sector de la construcción representa un 40% del total de la energía consumida y contribuye en un 30% en las emisiones de CO₂ (International Energy Agency 2015, Comisión Europea 2012) debido al empleo de sistemas de climatización y calefacción con el objetivo de proporcionar un confort agradable en el interior de los edificios. Actuar sobre los sistemas de climatización que incorporen estrategias de diseño bioclimáticas supondrían un gran ahorro de energía a corto plazo. Para ello uno de los principales objetivos es determinar y definir el valor del confort térmico ideal. Según el Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía, IDAE, una diferencia de 2° C en la temperatura de consigna de climatización en verano o de calefacción en invierno, puede suponer un ahorro energético de hasta un 10% (IDAE, 2005).

Como se ha puesto de manifiesto en el apartado anterior, el objetivo de la arquitectura (bioclimática) es crear un microcosmos de confort interior adecuado para el usuario tomando como referencia el medioambiente que le rodea y en relación de simbiosis con la naturaleza.

En este apartado se va a tratar de explicar el concepto de confort térmico y analizar los métodos de cálculo y evaluación.

2.1. Definición

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como consecuencia de la introducción de los sistemas de acondicionamiento de aire cuyo objetivo era proporcionar un ambiente adecuado a los usuarios en el interior del edificio (Castejón 1983). En la actualidad el estudio y análisis del confort térmico está muy ligado al control del consumo energético y su reducción dentro del sector de la construcción.

Para entender el concepto de confort térmico es necesario, en primer lugar, realizar un análisis de las numerosas definiciones encontradas.

- Baruch Givoni (1976) con la publicación de *Climate Considerations in building and urban design*, define confort térmico de la siguiente manera:

*"Thermal comfort can be defined operationally as the range of climatic conditions considered comfortable and acceptable inside buildings. It implies an absence of any sensation of thermal (heat or cold) discomfort. In dealing with heat discomfort, there are two distinct and independent sources of discomfort: the thermal sensation of heat and discomfort resulting from skin wetness (sensible perspiration)"*²⁰ (Givoni 1976).

²⁰ Traducción: "Confort térmico puede ser definido como un rango de condiciones climáticas consideradas confortables y aceptables en el interior de un edificio. Implica la ausencia de cualquier sensación térmica de insatisfacción (calor o frío). Frente a un nivel de incomodidad térmica por calor, existen dos fuentes de incomodidad diferentes e independientes, la sensación térmica por calor y la insatisfacción consecuencia de la humedad de la piel (transpiración sensible)."

- Hensen (1991) (citado en Holopainen et al. 2014) define confort térmico como:
*" a state in which there are no driving impulses to correct the environment by behaviour"*²¹
- Owen (1999) define confort térmico como la sensación de bienestar respecto a la temperatura. Depende del alcance de un balance entre el calor producido por el cuerpo y la pérdida del mismo (Owen 1999, citado en Balter 2011).
- Norma ISO 7730:2005 define el confort térmico como:
"una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico" (Taleghani et al. 2013, 201-215).
- Definition de la ASHRAE Standard 55, *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*. La ASHRAE, fundada en 1894 es una asociación global enfocada en el bien estar humano a través de una tecnología sostenible en la construcción y define confort térmico:
*"the condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation."*²²
(www.ashrae.org)

De lo anteriormente expuesto se deduce que no existe un consenso sobre el concepto de confort térmico. Según Givoni consiste en un rango de condiciones climáticas que se consideran confortables dentro de los edificios, mientras que Hensen y Owen lo define como una sensación de bienestar, más próximo a las definiciones de la ISO y la ASHRAE que hablan sobre confort térmico como un estado o una condición de la mente. La ASHRAE, incluso, va más allá y añade *"by subjective evaluation"*.

Efectivamente se trata de un concepto difícil a evaluar y difícilmente traducible en parámetros físicos cuantificables.

2.2. Modelos de evaluación del confort térmico

Desde principios del S.XX, se han realizado numerosos estudios e investigaciones sobre el confort dentro de los edificios, ligados a la influencia del confort y la productividad en un ambiente determinado, demostrando que un ambiente poco agradable reducía la productividad en el trabajo (Requena-Ruiz 2016). Durante los años '20, estas investigaciones se centran en el objetivo de definir y validar un método de cálculo y de medición del confort térmico (Taleghani et al. 2013, 201-215).

²¹ Traducción: *"...un estado en el que existen impulsos para corregir el ambiente a través del comportamiento"*

²² Traducción: *"La condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es valorado a través de una evaluación subjetiva."*

El confort térmico que experimenta una persona no es función exclusiva de la temperatura del aire sino también de otros parámetros.

Para el cálculo del confort térmico existen dos métodos fundamentales:

2.2.1. El enfoque cuantitativo y los modelos de predicción

Esta corriente considera el confort térmico un valor objetivo. Reduce la sensación de confort a un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente debido al proceso químico del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación correspondiente a los elementos externos del clima. Cuando este equilibrio se produce y el balance es igual a 0, el cuerpo ni cede ni absorbe calor, significa que las personas experimentan una sensación térmica de confort. Cuando el balance es distinto de 0, se experimenta una sensación de incomodidad. En este momento, el sistema termorregulador del cuerpo entra en acción desencadenando una serie de procesos fisiológicos para mantener la temperatura del cuerpo constante, evitando la sensación de incomodidad.

El método cuantitativo considera a todos los sujetos iguales tanto desde el punto de vista biológico como físico-químico, independientemente de las características del ambiente en que se encuentran.

Numerosos estudios que han seguido este enfoque se basan en experimentos realizados en cámaras climáticas controladas. Estos obtienen como resultados rangos de temperatura de confort en diferentes climas.

En 1963, V. Olgyay publica *Arquitectura y Clima* (Olgyay 1963) en el que presenta las cartas climatográficas. Consiste en un diagrama de condiciones básicas donde representa la humedad relativa y la temperatura. En función de estos datos, se localiza una zona denominada de confort en la que los valores de temperatura-humedad infieren al cuerpo humano una sensación térmica agradable. Ver Figura 20 a modo de ejemplo.

Figura 20. Diagrama de Olgyay que analiza el confort térmico de la casa Freeman (Los Ángeles, EE. UU, 1923) (Schiler y Brahmbhatt 2006)

En 1970 P. O. Fanger publica *Thermal Comfort*, presentando uno de los estudios más completos. Fanger considera que el valor de la temperatura de confort térmico puede definirse en términos del estado físico de las personas y no en términos de las condiciones del ambiente térmico. Establece, así, un balance térmico humano entre la temperatura media de la piel y la secreción de sudor al desempeñar una actividad. Aplicando el método cuantitativo y teniendo en cuenta una serie de parámetros influyentes sobre el confort térmico, dedujo la ecuación de confort de Fanger, que obtiene como resultado un valor adimensional que predice la sensación térmica de un sujeto desempeñando una actividad concreta con una vestimenta específica. La ecuación convierte pues la carga térmica acumulada en el cuerpo en un valor posible que denominó “vote” voto, estableciendo una serie de valores entre +3 y -3, considerando el rango de confort térmico entre +1/-1 teniendo en cuenta la subjetividad de los usuarios (Tabla 3).

Escala de valoración térmica de Fanger		
Valor	Apreciación	
3	Hot	Sofocante
2	Warm	Caluroso
1	Slightly warm	Ligeramente caluroso
0	Neutral	Neutral
-1	Slightly cool	Ligeramente fresco
-2	Cool	Fresco
-3	Cold	Frío

Tabla 3. Tabla de valoración de sensación térmica de Fanger. Tabla elaborada por el autor.

Para la deducción de su ecuación, Fanger tuvo en cuenta varios parámetros:

- Temperatura media radiante, representa el calor emitido en forma de radiación por los elementos del entorno y se compone de las temperaturas superficiales ponderadas de todos los cerramientos. Es deseable que el valor no difiera mucho de la temperatura del aire. Se mide en °C/K.
- Temperatura del aire, representa la temperatura media del aire que rodea al usuario. Se mide en °C/K.
- Velocidad del aire, la velocidad del aire en movimiento en un punto concreto sin tener en cuenta la dirección. Se mide en m/seg,
- Humedad relativa, la relación entre la cantidad de vapor de agua del aire y la cantidad de vapor de agua que podría admitir un ambiente en unas determinadas condiciones de temperatura y presión. Se mide en %.
- Nivel de actividad (*metabolism*), relacionado con las reacciones químicas que ocurren en el cuerpo. La unidad de medida es W.
- Índice de vestimenta, o resistencia térmica del vestido (*clothing*). Este parámetro expresado en “*clo*” varía de 0 (cuerpo desnudo), 0.5 (ligero vestimenta de verano), 1 (medio, traje completo), 1,5 (pesado, de invierno). La unidad es 1 clo= 0.155 K/W.

El índice de Fanger denominado Voto Medio Previsto, *Predicted Mean Vote*, PMV, es uno de los más empleados para el cálculo del confort térmico. También estableció el Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas, *Predicted Percentage Dissatisfied*, PPD, en relación con el PMV; el porcentaje de personas insatisfechas aumenta cuando el PMV se aleja de 0.

El índice del PMV y de PPD es empleado por la ASHRAE Standard-55 y la ISO 7730.

Sin embargo, a finales del S. XX, los modelos cualitativos comenzaron a ponerse en duda pues no eran aplicables de forma exacta a todos los casos y condiciones:

- Las predicciones se cumplen con sujetos acostumbrados a habitar edificios equipados con sistemas de climatización artificial, pero resultan poco fiables para medir la sensación térmica de las personas en edificios con ventilación natural. El PMV no considera la capacidad de aclimatación ni la expectativa del ser humano en sus cálculos.
- Los valores se basan en cálculos realizados en cámaras climáticas con condiciones de temperatura y humedad reguladas que no corresponden a condiciones reales. Mediciones realizadas in-situ han arrojado resultados que difieren de los PMV, especialmente en climas extremos donde el componente geográfico y socioeconómico influye en la sensación térmica.
- Los valores de “clo” y de “met” son estimativos y en numerosas ocasiones no suponen valores reales, aportando así valores de PMV no fiables.

2.2.2. El enfoque cualitativo y los modelos de adaptación

El enfoque cualitativo considera a la realidad como un ente subjetivo y múltiple. Este modelo implica sistemas complejos en que interfieren variables físicas y biológicas, variables cuantificables como el clima, la tasa metabólica, el aislamiento térmico, y variables psicológicas, difícilmente cuantificables, como adaptación, tolerancia, experiencia y expectativa. El confort térmico no puede considerarse sólo condicionante del intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno, sino que interfieren también las acciones que el ser humano emprende para alcanzarlo a través de procesos fisiológicos y psicológicos como a través de acciones externas. El comportamiento humano es un aspecto determinante para alcanzar el confort térmico. Si se produce un cambio en el ambiente que provoca insatisfacción, el sujeto reacciona de forma instintiva para volver a la situación de confort.

El enfoque cualitativo considera, pues, la adaptación al entorno, por lo que se han denominado modelos de adaptación. La temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los individuos y su entorno térmico. El sujeto reacciona para alcanzar dicho confort, de forma que tendrá menos probabilidad de sentir insatisfacción térmica aquel que mejor sepa adaptarse al ambiente.

Las acciones para alcanzar el confort se resumen en cuatro grupos:

- Modificar la generación interna de calor
- Modificar la tasa de pérdida de calor del cuerpo
- Modificar las características del ambiente térmico, bien de forma natural (abrir una ventana), o de forma artificial (métodos de climatización mecánicos).
- Modificar la ubicación, desplazarse a un ambiente más confortable dentro del mismo espacio.

Numerosos estudios realizados siguiendo el modelo de adaptación, relacionan la sensación térmica de los individuos con la temperatura ambiental a la que están acostumbrados.

Los estándares que habían aplicado el modelo de Fanger, han ajustado sus procedimientos a los modelos de adaptación. Así la ISO 7730: 2005, propone un factor de expectativa “e” que se aplica sobre el PMV original para obtener la sensación térmica en edificios sin aire acondicionado en climas cálidos. La ANSI ASHRAE 55: 2004, incluye un “Estándar de Confort Adaptivo (*Adaptive Comfort Standard*, ACS) para edificios con ventilación natural en verano.

Sin embargo, los modelos adaptivos han sido igualmente objeto de varias críticas:

- Subjetividad e inexactitud de los resultados. Puesto que considera ciencias no exactas que implican aspectos psicológicos del ser humano, es difícil plasmar, por

ejemplo, las interacciones entre el sujeto y su entorno en un modelo matemático exacto.

- Amplitud del rango de confort térmico. La temperatura de confort varía de una región a otra, o dentro de una misma región entre sujetos de diferentes grupos socioeconómicos, o incluso según la variación del clima y la forma de aclimatar el ambiente dentro de un edificio. De hecho, no existe una temperatura de confort si no un rango dentro del cual el individuo no siente malestar. La amplitud del rango de confort varía en función de varios factores como el tiempo de adaptación del sujeto, la marcha horaria de la temperatura durante el día, el grupo socioeconómicos, el tipo de sistema de climatización. Givoni (1998) afirma que las personas en países en desarrollo no acostumbradas al uso de aire acondicionado pueden incrementar esta amplitud hasta $\pm 5K$. Otros estudios proponen herramientas gráficas que relacionan las oscilaciones diarias de temperatura con las zonas de confort según distintos niveles de actividad. La amplitud del rango, normalmente considerada equidistante en relación a la temperatura óptima de confort, está siendo últimamente analizada, puesto que el ser humano es más tolerable a temperaturas elevadas que a temperaturas bajas.
- El rol del individuo en su adaptación al ambiente. Es necesario enfocar los análisis hacia la capacidad de aprendizaje del individuo a adaptarse al medio ambiente.
- El problema del cambio climático. Los efectos del calentamiento global del planeta originan condiciones más variables del entorno, siendo necesario adaptar los estándares de confort térmico actuales a estas nuevas condiciones cambiantes.

2.3. Herramientas de Cálculo del confort térmico interior.

El *Center for the Built Environment* (CBE) de la Universidad de Berkely²³ (Tyler et al. 2013) permite a través de una aplicación on-line calcular el índice de confort térmico introduciendo una serie de parámetros según el modelo de cálculo empleado. Dicha herramienta proporciona datos de confort según el estándar de la ASHRA-55 o el EN 15251.

2.3.1. Método de predicción PMV

Empleando el método de predicción se obtiene un gráfico psicométrico con datos de temperatura operativa y de humedad. En función de los parámetros introducidos, siguiendo el modelo de Fanger, se muestra una zona oscura que representa la zona de confort. El punto rojo sobre el gráfico corresponde a la temperatura operativa²⁴ y a la

²³ <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>

²⁴ Temperatura operativa o temperatura resultante seca de un recinto es aquella temperatura única que deberían tener tanto el aire como las paredes, para que una persona media intercambiase por convección y radiación la misma cantidad de energía que intercambia en la situación real. En la práctica se puede considerar como el valor medio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media. Se emplea para la evaluación del confort térmico, gracias a

humedad relativa introducidas. En el caso en que el punto se localice dentro del rango de confort significa que el ambiente se considera dentro del confort, aportando además datos de PMV y de PPD.

A continuación, se presenta un ejemplo de diagrama de confort según el estándar ASHRAE-55, en el que se han introducido los valores siguientes (Tabla 4):

Temperatura Operativa (° C)	Velocidad del aire (m/s)	Humedad relativa (%)	Tasa metabólica (met.)	Características del vestuario (clo)
23.5	0.1	50	1.1	0.5

Tabla 4. Parámetros empleados para el cálculo de confort térmico. Tabla elaborada por el autor

Con los datos arriba introducidos se observa que el PMV es de -0.62, y el porcentaje de personas insatisfechas del 13%, considerando el ambiente *slightly cool*²⁵, lo cual significa que estas condiciones de ambiente interior no se encuentran dentro de la zona de confort (Gráfico 1). Para alcanzarlo, sería necesario variar alguno de los parámetros. Es interesante resaltar que los usuarios pueden controlar y modificar estos parámetros de tal forma que la ecuación de confort aporte resultados dentro de la zona de confort. Así, en este caso, si un usuario siente frío, para alcanzar el confort puede simplemente aumentar el valor de clo, (poniéndose un jersey), o aumentando la temperatura operativa. Una solución similar podría aplicarse con una sensación térmica de calor; el confort podría bien alcanzarse reduciendo el valor de clo (quitándose el jersey) o disminuyendo la temperatura de consigna de la climatización. ¿Cuál de las dos soluciones parece más sostenible?

En relación a la variación del valor de vestimenta clo, se encuentran numerosas discusiones actuales sobre el *dress code* de las empresas adaptándolo a las condiciones climáticas exteriores, lo cual podría tener como consecuencia una reducción del consumo energético importante de sus edificios. Un buen ejemplo es el llamado *Cool Biz* dress code, implantado en Japón en el año 2005 (Healy 2010). Con el objetivo de reducir el consumo energético de aire acondicionado, el Ministerio de Medioambiente propuso una temperatura interior de consigna de 28°C en verano, por lo que se estimuló a los trabajadores a adaptar su vestimenta a unas temperaturas más elevadas para alcanzar una sensación de confort térmico.

que de manera más fidedigna representa la temperatura “sentida” por una persona en un ambiente interior. En numerosos estudios y análisis se sustituyen los datos de temperatura media radiante y temperatura del aire por la temperatura operativa.

²⁵ Traducción: ligeramente fresco.

Gráfico 1. Gráfico psicométrico de T^a operativa/Humedad. PMV y PPD de unas condiciones determinadas. Elaborado por el autor a través de <http://comfort.cbe.berkeley.edu>.

2.3.2. Método de adaptación

A continuación, se presenta el cálculo del confort interior con los mismos datos que en el ejemplo anterior empleando el método de adaptación. Este método es aplicable sólo para edificios ocupados con sistema de climatización natural que cumplan los siguientes criterios:

- No poseen instalado un sistema de ventilación mecánica y el sistema de calefacción no está operativo.
- La tasa metabólica está entre 1 y 1.3 met.
- Los ocupantes pueden controlar su índice de vestimenta (clo) a las condiciones térmica interiores y/o exteriores.

Al tener en cuenta la ventilación natural, la velocidad mínima del aire introducida en la herramienta es de 0.3 m/s. En cuanto a la tasa metabólica, según los criterios establecidos se encuentra entre 1-1.3. Las características del vestuario variables por el usuario según las condiciones climáticas interiores (Tabla 5).

Temperatura Operativa (° C)	Temperatura Exterior (° C)	Velocidad del aire (m/s)	Tasa metabólica (met.)	Características del vestuario (clo)
23.5	27	0.3	(1-1.3)	Adaptación

Tabla 5. Parámetros empleados para el cálculo del confort térmico. Tabla elaborada por el autor

La herramienta proporciona un gráfico con la temperatura operativa y la temperatura exterior (Gráfico 2). Se observa pues, que para el cálculo de la zona de confort se tiene en cuenta la temperatura exterior que el método anterior no consideraba. El gráfico proporciona igualmente una zona oscura señalando el rango de temperaturas de confort. El punto rojo corresponde al dato de temperatura operativa y temperatura exterior. En este caso, con una temperatura operativa de 23.5 °C como en el cálculo anterior, sí se considera el ambiente interior dentro de la zona de confort.

Gráfico 2. Gráfico de T^a operativa/ T^a exterior. Método adaptativo de unas condiciones determinadas. Elaborado por el autor a través de <http://comfort.cbe.berkeley.edu>

La aplicación del método adaptativo que tiene en cuenta las condiciones climáticas externas y considera la capacidad de reacción de los usuarios a adaptar el nivel de vestimenta, parece a priori una aproximación válida hacia un confort térmico interior más flexible, lo cual puede traducirse en una reducción de sistemas de climatización para alcanzar las condiciones de confort.

2.4. Medición de las condiciones térmicas que condicionan el confort térmico interior

En este punto se describen las dos metodologías para las medidas de los parámetros de las condiciones térmicas interiores que condicionan el confort térmico interior que han sido nombrados en los puntos anteriores; temperatura interior, humedad, y velocidad del aire.

La evaluación del confort térmico dentro de los edificios tiene como principales objetivos los siguientes puntos:

- La toma de medidas de los parámetros de las condiciones térmicas sirve para conocer la situación real en cuanto a confort térmico de un edificio. Es necesario cuantificar para valorar si unas condiciones concretas están dentro de la zona o no de confort.
- Esta valoración permite una comparación con los datos obtenidos a nivel de proyecto, si es que un estudio energético y de confort interior ha sido realizado en fase de proyecto. Los resultados de la comparación podrán detectar los puntos débiles del edificio en cuanto a instalaciones y a la construcción del mismo, aportando pistas sobre posibles soluciones. En numerosas ocasiones, los análisis realizados en fase de proyecto avanzan resultados favorables que en condiciones reales no se cumplen. Por ello es fundamental el realizar una evaluación una vez el edificio entra en servicio, lo que se conoce como el *Post Occupancy Evaluation* (POE) (Leaman 2005). Las principales causas pueden ser debidas a:
 - La construcción del edificio no ha sido realizada y supervisada de acuerdo a los detalles del proyecto.
 - Las instalaciones no se utilizan de la forma en que han sido proyectadas debido a numerosas causas entre las que puede incluirse la complejidad de las mismas en relación a la información del servicio de explotación del edificio, por poner un ejemplo recurrente.
 - Los usuarios no utilizan el edificio de la forma en que ha sido previsto, bien por falta de información o porque la realidad de lo proyectado no corresponde con la realidad construida.
- Independientemente de la existencia o no del estudio en fase de proyecto, esta valoración va a permitir realizar un diagnóstico como punto de partida para redactar un plan de acción de medidas para solucionar los problemas existentes y obtener un confort térmico favorable, junto con el ahorro energético y económico.
- Las medidas correctoras pueden ser de dos tipos:
 - Variación de las condiciones térmicas interiores, mediante la utilización de los sistemas mecánicos o naturales del edificio, en función de su diseño.
 - Implicación de los usuarios, modificando y adaptando el comportamiento de los usuarios a las condiciones térmicas interiores.

El equilibrio entre la combinación de estos dos tipos de medidas será fundamental para alcanzar el confort térmico como se verá más adelante.

- La evaluación del confort térmico en fase de proyecto, a través de la simulación digital, va a permitir simular diferentes escenarios tomando diferentes hipótesis con el fin de poder identificar las soluciones óptimas de diseño, de materiales y de instalaciones a proyectar.

2.4.1. Medición in-situ de las condiciones térmicas interiores. Dispositivos

Para evaluar el confort térmico es necesario tomar medidas de las condiciones térmicas del edificio como temperatura interior, humedad y velocidad del aire. Generalmente, la fase de toma de datos se lleva a cabo durante un año, valorando así, las condiciones climáticas interiores durante todas las estaciones.

A continuación, se aporta a través de ejemplos concretos diferentes sistemas de medidas in-situ.

- *Thermal Confort in a Sustainable House design by Frank Lloyd Wright* (Schiler y Brahmbhatt 2006)

Para evaluar el confort térmico en la casa Freeman de Frank Lloyd Wright (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923), Schiler y Brahmbhatt (2006), emplearon una serie de sensores inteligentemente distribuidos por la vivienda durante doce meses. Para asegurar la toma de datos se colocaron simultáneamente tres sistemas diferentes de sensores:

- Dataloggers (iButtons) para medidas de temperatura exclusivamente
- Dataloggers (HOBO) para medidas de temperatura y humedad relativa
- Un sistema de sensores inalámbricos conectados en red a un ordenador, junto con una estación meteorológica, que registra condiciones térmicas externas.

Antes del registro definitivo de datos, se realizaron una serie de pruebas para poner coordinar las medidas de los diferentes sistemas.

Los datos obtenidos han sido introducidos en los diagramas de confort térmico siguiendo el modelo de Olgyay, mostrando si la vivienda se encuentra dentro o no de la zona de confort.

Sin embargo, los resultados obtenidos están condicionados por el comportamiento de los usuarios. Wright diseñó la chimenea para calentar la vivienda durante los meses de invierno; sin embargo, durante la fase de toma de datos, la chimenea no fue utilizada, aportando como resultado que las condiciones de la vivienda no se encuentran dentro de la zona de confort.

- *The vital signs Casa Study. (Sturgeon y Porges 1997-98)*

Este estudio realizado sobre la casa Jacobs I, (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1937-38) trata de analizar si la reforma energética realizada en un ala de la vivienda representa realmente una mejora de las condiciones térmicas interiores y en qué medida. La reforma, llevada a cabo durante los años '80, incluyó la instalación de aislamiento térmico en la cubierta, la sustitución del acristalamiento sencillo por uno doble en todas las ventanas de la vivienda y la rehabilitación del sistema de suelo radiante del ala principal del salón, junto con el aislamiento de la solera de esta zona de la vivienda.

Para la medición se han empleado los siguientes dispositivos:

- Datalogger (HOBO) repartidos de forma estratégica dentro y fuera de la vivienda, que registran datos de temperatura y de humedad relativa.
- Medidor de temperatura laser, para tomar datos de temperatura superficial de la fachada y de la solera.

A la hora de evaluar los resultados se encontraron una serie de problemas; el comportamiento de los usuarios no siempre coincide con el comportamiento programado en el diseño de la vivienda. Así Wright pensó en la calefactar la vivienda a través de la radiación del sol en el interior de la misma, sin embargo, el propietario para conservar el mobiliario en buen estado y protegerlo del sol, mantenía las cortinas cerradas durante todo el día, impidiendo la calefacción natural de la vivienda.

- Estudios experimentales realizados por Baruch Givoni en relación al efecto de la inercia térmica y la ventilación natural en los edificios.

Para ello, Givoni (1993 y 2009) realizó numerosos análisis empleando igualmente dispositivos de medida de temperatura y de humedad relativa, dataloggers, y una estación meteorológica exterior para la toma de datos climáticos externos. En varios de sus análisis realiza, además, simulaciones digitales que compara con los datos reales aportados.

En resumen, los dispositivos más empleados para el registro de datos de temperatura y humedad son los dataloggers, aportando datos fiables y de fácil manipulación.

2.4.2. Simulación energética digital. Programas de simulación

Los análisis del comportamiento energético dentro de los edificios se realizan mucho antes de la aparición de los ordenadores. Sin embargo, estos análisis podrían no llegar a ser exactos y provocaban edificios poco eficientes.

La simulación energética digital apareció en los años '60 y fue creciendo durante la década de los años '70 con el desarrollo de nuevos programas que han ido evolucionando hasta la actualidad.

A partir de los años '90, la utilización de estos programas ha ido simplificándose, y comienzan a estar al alcance de los profesionales (Hong, Tianzhen y Bong 2000, 347-361).

Actualmente existen programas capaces de simular cualquier aspecto referente a la eficiencia energética del edificio (Crawley et al. 2008, 661-673) como el efecto de la radiación solar, cargas térmicas producidas por las instalaciones y los ocupantes, confort interior, flujos de aire por infiltración; desde emisiones de CO₂, hasta evaluar la producción de energía a través de fuentes de energía renovables como paneles fotovoltaicos.

La aplicación de estos programas resulta muy útil durante la fase de proyecto con el fin de valorar diferentes escenarios y definir e identificar la solución óptima a través de la orientación y la forma del edificio los materiales empleados para la construcción y la envolvente, así como los diferentes sistemas de climatización pasivos o mecánicos.

Programas de simulación energética digital

A continuación, se presentan de forma resumida los programas de simulación más reconocidos.

- **DOE-2.** Se trata de un programa desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (U.S DOE). Desde su primera aparición, en 1979, ha ido evolucionando y en la actualidad es utilizado en más de 40 países diferentes para el diseño de edificios sostenibles, para el desarrollo de estándares de eficiencia energética y la evaluación del impacto de las instalaciones (<http://www.doe2.com/>). Se trata de un programa muy completo que requiere un conocimiento especializado para su uso (<http://gundog.lbl.gov/>).
- **Energy plus.** Es un programa de simulación de nueva generación que incluye las aplicaciones de DOE-2 siendo incluso más preciso (Crawley et al. 2001, 319-331) El motor de cálculo de Energy plus permite simular algunos sistemas y comportamiento de los edificios que DOE-2 no es capaz de simular, como por ejemplo suelo radiante, y ventilación natural a través de las diferentes zonas. Es necesario añadir, que ha sido evaluado y verificado con datos reales, actuales, aportando veracidad a los resultados. (http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/). La base de datos climáticos que emplea es muy completa, y en la actualidad cuenta con más de 2.100 localizaciones diferentes (<https://energyplus.net/weather>, consulta de 01/06/2017).

AL igual que DOE-2, Energy Plus, requiere una cierta habilidad para su empleo y los tiempos de simulación, puesto que se trata de una aplicación muy completa, son muy largos.

- **eQuest.** Se trata de uno de los programas cuyo empleo es de lo más extendido, debido a su fácil manipulación y está en libre servicio. Con alrededor de 10.000 descargas anuales, esta *interface* emplea el motor de cálculo de DOE-2. Una de sus múltiples ventajas es que presenta tres niveles diferenciados en función del detalle del edificio. Un primer nivel para la simulación en fase de proyecto, un

segundo nivel para una simulación más detallada, y, por último, la simulación de un edificio terminado (http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/).

- **Autodesk Revit.** Permite la modelización del edificio. A través de su herramienta de análisis energético, *Revit*, es capaz de simular el impacto y el comportamiento energético del edificio. Esta herramienta conecta la potencia de diseño de *Revit* con la potencia de análisis de *Autodesk Green Building Studio*, que emplea a su vez, el motor de cálculo de *DOE-2*. El modelo energético creado, se puede exportar a otros programas para hacer un análisis más detallado como *Design Builder* (<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=12602821>).
- **Design Builder.** Este programa es realmente una *interface* que emplea el motor de simulación de *Energy Plus*. *Design Builder* permite crear directamente la geometría del edificio o importar en formato gbXML de otros programas como *Revit* de *Autodesk*. (DesignBuilder web site. [Online] DesignBuilder Software Ltd. <http://www.designbuilder.co.uk/>.) El empleo de esta *interface* permite simular medidas pasivas aplicadas a los edificios como la ventilación natural, cubiertas vegetales, control de sombreado móvil, materiales de cambio de fase, aportando igualmente datos de confort térmico.

2.4.3. Ventajas y desventajas de la medición in-situ y de la simulación digital

- **Medición in-situ**

Ventajas

1. Reproduce datos de la realidad existente
2. Los resultados responden a un análisis global que incluye todos los condicionantes existentes.
3. Las condiciones térmicas exteriores con las que se realiza la toma de datos interiores representan la realidad existente.

Desventajas

1. Al igual que reproducen condiciones de la realidad existente, esta realidad representa la imperfección, es decir, condiciones no-ideales.
2. La toma de datos es una labor tediosa, que implica una larga duración de tiempo. Generalmente, la fase de toma de datos se realiza durante un período de 1 año para analizar el comportamiento del edificio durante todas las estaciones.
3. Los dispositivos que se emplean, los dataloggers, pueden aportar datos erróneos, o quedarse sin batería. Por lo que es necesario colocar más de un sistema de dispositivos, de sensores en paralelo.

4. La posible dificultad que puede suponer la colocación de estos dispositivos en el interior de los edificios.
5. Existen varios modelos y rangos de dispositivos de medidas, que pueden variar de precio. Generalmente va a representar un presupuesto elevado.
6. Las condiciones térmicas exteriores pueden variar, y pueden no ser un modelo representativo de una época del año concreta, por lo que los resultados obtenidos no podrían ser extrapolables de forma generalizada. Sería necesario señalar estas condiciones como excepcionales y realizar una nueva campaña de medidas.
7. La realidad existente está condicionada al comportamiento de los usuarios, siempre y cuando las medidas se realicen en un edificio ocupado. En muchos casos, el comportamiento de los usuarios no representa un comportamiento lógico, por lo que los resultados no pueden ser tomados como resultados representativos.

- **Simulación digital**

Ventajas

1. La realización de un modelo complejo permite realizar un análisis global incluyendo todos los condicionantes existentes.
2. El tiempo de cálculo es mucho menor que en la fase in-situ. No es necesario esperar un año para obtener los resultados.
3. Los archivos climáticos empleados aportan datos representativos. Estos han sido generados calculando la media de los datos climáticos durante varios años. Permite, igualmente, elegir un archivo climático concreto incluso modificarlo para realizar simulaciones de condiciones hipotéticas, por ejemplo, condiciones futuras resultado del cambio climático.
4. De forma sencilla, la simulación permite realizar diferentes escenarios e hipótesis que pueden generar edificios con soluciones de diseño y de instalaciones que repercuten directamente sobre el confort térmico interior, sobre el impacto energético del edificio y un posible ahorro energético.
5. El comportamiento de los usuarios puede ser introducido como una variable dependiendo del programa utilizado. Los resultados obtenidos van a depender del comportamiento de los usuarios que ha podido establecido a priori.
6. La simulación digital de edificios, que, por su dificultad de acceso o lejanía física, o bien porque las condiciones originales de diseño han variado, o simplemente porque se trata de edificios históricos que han desaparecido, representa una herramienta viable a utilizar, en que las medidas in-situ resultarían imposibles.
7. La simulación digital no supone un presupuesto elevado. En la actualidad existen numerosos programas de libre acceso.

Desventajas

1. Los programas de simulación digital presentan un margen de error.

A continuación, se presenta Tabla 6, resumiendo las ventajas y desventajas.

	Ventajas	Desventajas
Medidas in situ	1 Reproducen condiciones de la realidad existente	Realidad existente no-ideal
	2 Análisis Global	Toma de datos tediosa y larga en el tiempo
	3 Condiciones exteriores reales	Errores de medidas de los dispositivos
	4	Dificultad en la colocación de los dispositivos
	5	Presupuesto elevado
	6	Condiciones térmicas exteriores no representativas
	7	Condicionamiento del comportamiento de los usuarios <i>no</i> predecible
Simulación digital	1 Modelo digital complejo que permite un análisis global	Presentan un margen de error a tener en cuenta
	2 Tiempo de cálculo reducido	
	3 Archivos climáticos con datos representativos	
	4 Comparación de diferentes escenarios	
	5 Condicionamiento del comportamiento de los usuarios <i>si</i> predecible	
	6 Simulación de edificios inaccesibles, rehabilitados, no existentes, históricos	
	7 Presupuesto medio-bajo	

Tabla 6. Ventajas y desventajas de la medición in-situ y de la simulación digital. Tabla elaborada por el autor

3. Frank Lloyd Wright

El presente capítulo trata de identificar las características principales de la arquitectura de Frank Lloyd Wright en lo que concierne a la relación de su arquitectura con el medioambiente. Para ello, se aporta su biografía a través de la evolución de obra, resaltando los puntos relacionados con la arquitectura bioclimática. Se va a realiza una recopilación de la documentación existente relacionada con este tema, como son los análisis concretos de sus obras desde el punto de vista medioambiental. Además, se van a recoger testimonios de los usuarios de sus edificios que corroboran el confort interior de los mismos. Para terminar el capítulo, se expone una breve recopilación de discípulos y/o seguidores de sus ideas hasta la fecha actual.

3.1. Biografía de Frank Lloyd Wright a través de la evolución de su arquitectura.

Frank Lloyd Wright nace en 1867, en el estado de Wisconsin, Estados Unidos. Wright vivió casi 92 años, y a lo largo de su extensa carrera que abarca más de 1.000 proyectos y 500 construidos, se puede observar una importante evolución que culmina con lo que él mismo denominó *Organic Architecture*. Este movimiento arquitectónico, promueve la armonía entre el hábitat humano y el mundo natural, actuando a favor de la naturaleza y no en su contra. Fue un personaje que vivió por y para la arquitectura.

Uno de los puntos importantes de Wright, es su gran experiencia durante su larga vida, siempre ligada a la arquitectura. Fue testigo de numeroso y radicales cambios; la transformación de la familia americana, la adopción del coche, el desarrollo suburbano de un hábitat colectivo, la sociedad de consumo, los avances tecnológicos, como son, el aire acondicionado, los nuevos materiales de construcción como el hormigón armado, por citar algunos.

No se va a entrar en detalle acerca de su personalidad, pues lo que interesa del trabajo de Wright es su obra y no su carácter, del cual, ya que se cita, dicen que era un hombre encantador y con gran carisma a la vez que podía resultar arrogante, grandioso, manipulativo, según las propias palabras de su hijo John (Cronon 1994).

3.1.1. Antecedentes

Frank Lloyd Wright nace en Richland Center, Wisconsin, en 1867²⁶. Su padre fue un admirado orador y profesor de música. Según narra el propio Wright en su Autobiografía (Wright 1943), él fue quién le inculcó el amor por la música y los grandes maestros como Beethoven y Bach. Su madre, proveniente de una familia acomodada originaria de Gales, era profesora. De ella aprendió el amor por la naturaleza y las cosas en estado natural. Siempre interesada en el aprendizaje, sintió una gran curiosidad por el método de enseñanza de Friedrich Fröbel²⁷, por lo que tomó lecciones en relación a su método y enseñó a sus hijos a jugar con los famosos *Fröbel Gifts*.

Según cuenta Wright, pasó gran parte de su infancia jugando con estos bloques de diferentes formas y colores con los que crear diferentes construcciones. En el aspecto formal, se puede encontrar un gran paralelismo entre éstos y los primeros diseños de Wright, como se aprecia en las siguientes figuras (Figura 21 y Figura 22).

²⁶ En alguna documentación consultada aparece 1869. La fecha de 1867 es más fiable, y este año, 2017, se celebra el 150 aniversario de su nacimiento.

²⁷ Friedrich Fröbel fue un pedagogo alemán fundador de la educación preescolar basado en el reconocimiento de que los niños tienen necesidades y capacidades únicas. Diseñó los *Fröbel Gifts*.

Figura 21. Casa Robie (Chicago, Illinois, EE. UU, 1908-09) construida con los bloques *Fröbel*.

Figura 22. Casa Robie (Chicago, Illinois, EE. UU, 1908-09) imagen de la fachada principal. Fotografía de Jaime Beltrán.

En 1885 se produce el divorcio de sus padres y Wright no volvió a ver a su padre. Es entonces cuando asume la figura del padre de familia y comienza a trabajar en la universidad de Wisconsin a la vez que cursa sus estudios de ingeniería en la misma universidad. Su madre, había sido siempre su referente,

3.1.2. *Prairie School* (finales S. XIX- principios S. XX) ²⁸

Pero la pasión de Wright por la arquitectura, le obliga a abandonar, dos años más tarde, la escuela de ingeniería para trasladarse a Chicago en busca de trabajo como arquitecto. En aquel momento, la ciudad de Chicago se encontraba en pleno auge urbanístico debido al gran incendio sufrido en 1871 (<http://www.chicagohs.org/history/fire.html>) y al aumento demográfico. Allí consigue trabajo en el prestigioso estudio de Adler & Sullivan en el que permanece durante 5 años. Louis Sullivan, conocido como el padre de los rascacielos, y perteneciente a la escuela de Chicago²⁹, tuvo gran influencia sobre la obra de Frank Lloyd Wright.

La influencia del movimiento social, económico y arquitectónico del *Arts & Crafts* de John Ruskin y William Morris, junto con la experiencia en Adler & Sullivan hicieron posible la aparición de la *Prairie School*, siendo Frank Lloyd Wright uno de sus

²⁸ En numerosa bibliografía se han encontrado fechas diferentes, sin embargo, se ha considerado que la *Prairie School* comienza en la última década del S. XIX y perdura hasta la primera década del S. XX. Immaculada Jiménez (Jiménez 2011) considera 1900-1911. En el análisis posterior sobre las residencias unifamiliares, se considera una primera etapa *Pre-Prairie-School*, etapa más ecléctica de 1887-1900, y la etapa *Prairie School* propiamente dicha de 1900-1915.

²⁹ Estilo arquitectónico desarrollado en Chicago a finales del S. XIX y principios del S. XX que introdujo nuevos materiales y técnicas de construcción en grandes edificios comerciales y en los primeros rascacielos.

máximos representantes. Este movimiento arquitectónico promulgaba la fabricación artesanal en contra de las nuevas técnicas de fabricación y producción en masa que los avances tecnológicos aportaban, por ser considerados de calidad inferior. Además, ha sido considerado como un intento de crear un estilo propio norteamericano, rompiendo con el clasicismo de la arquitectura europea. Este estilo se caracteriza por la horizontalidad de sus líneas tratando de reproducir la extensión del paisaje y la pradera norteamericana, dejando constancia de una fuerte relación con la naturaleza.

En la obra de Wright diseñada durante esta época se aprecian estas dos características principales, arquitectura fuertemente ligada a la naturaleza, y construcción artesanal y tradicional. Hay que destacar que estos dos rasgos de su obra se ven acentuados por la gran influencia que tuvo sobre él la cultura y arquitectura tradicional japonesa de la que además era un gran admirador. Sus edificios presentan un vínculo con la naturaleza, abriéndose hacia el exterior a través de ventanales alargados, que van aumentando su superficie a medida que evoluciona su obra, permitiendo una fuerte conexión con el entorno.

El interés por lograr un ambiente interior adecuado al usuario queda patente en su preocupación por la orientación de sus edificios. Las grandes superficies acristaladas mirando al sur, permiten la entrada de sol en invierno y sus tan característicos voladizos las protegen de la radiación solar en verano. Además, Wright afirma que una orientación adecuada es la primera condición para tener una buena iluminación, manifestando que:

*"The best way to light a house is God's way- the natural way, ..."*³⁰
(Wright 1954,154)

Wright es consciente del papel fundamental que juegan las instalaciones para lograr el confort interior deseado, introduciéndolas como un elemento arquitectónico de diseño integrado en el edificio.

En el libro *The Architecture of the Well Tempered Environment*, Reyner Banham (Banham [1969] 1984)³¹ afirma que frente a la fascinación por las innovaciones tecnológicas aparecidas a principios de S. XX, que permitían crear ambientes interiores de forma artificial, cabe destacar la calidad del ambiente humano creado en las viviendas de Wright que mejoraban de forma radical el arte de gestionar el medio ambiente. Así como el estilo arquitectónico de las viviendas de la *Prairie School* permanece un tanto pintoresco, sin pretensiones, y sin tener nada que ver con la estética industrial con la que tan a menudo se ha relacionado a Wright, el grado de equipamiento mecánico de sus viviendas permanece también, en general, modesto, empleando

³⁰ Traducción: *"La mejor forma de iluminar una casa es a la manera de Dios, de forma natural, ..."*

³¹ Reyner Banham, fue un pionero en argumentar que tecnología, necesidades del hombre y el medioambiente deben ser considerados como una parte integral de la arquitectura. *L'Architecture de l'environnement bien tempéré*, 1984, University of Chicago Press

dispositivos sencillos. Por ejemplo, frente a las nuevas tecnologías de calefacción ya existentes a principios del siglo XX, como la calefacción por convención y radiación naturales, Frank Lloyd Wright optó por otra solución más tradicional; una chimenea. La gran chimenea tan característica de las viviendas diseñadas por Wright, se situaba en el salón constituyendo el centro de inercia de la vivienda. Ésta ofrecía una zona de confort térmico estable, protegido de las corrientes de aire. A lo largo de la obra de Wright se van a encontrar numerosos elementos tradicionales pues como él mismo escribía en *The Natural House*:

"... tradition was not a parasite nor an enemy but a friend ..." ³² (Wright 1954, 24)

El uso combinado que hace Wright de los sistemas mecánicos y de la forma estructural de sus edificios es donde radica la novedad que hacen de las viviendas de la *Prairie School* un modelo dentro del arte de gestionar el medio ambiente.

Un claro ejemplo de la integración de las instalaciones como parte del diseño arquitectónico y de una forma inteligente de gestionar el medio ambiente lo constituye el edificio de oficinas Larkin, construido en 1903-1905 en Buffalo, Estados Unidos. ³³ El edificio es concebido de forma hermética para evitar la entrada del aire viciado del exterior causado por los trenes de la New York central que pasaban cerca. El interés radica en el sistema de climatización diseñado por Wright, siendo considerado uno de los primeros edificios con "aire acondicionado" ³⁴ (Bahnman 1969) en Estados Unidos, y en la gestión de la iluminación natural conseguida a través de un enorme patio central de gran altura, acristalado. Aunque no sea objeto del presente trabajo, la disposición de los trabajadores en un único espacio abierto, que hoy en día es lo más habitual, suponía una novedad para la época.

En cuanto a los materiales de construcción, Wright es partidario de utilizar materiales locales sin tratamientos de acabado, materiales sencillos. Como él mismo expresó en *The Natural House*,

"There were a lesson in elimination of the insignificant and in the beauty of the natural use of materials" ³⁵ (Wright 1954, 18)

En esta frase, se deduce un cierto paralelismo con los primeros movimientos ecologistas de los años '60 que se originaron en Estados Unidos, si bien no en el objetivo final, sí en el proceso; la ideología lógica de Wright de desprenderse de todo aquello innecesario.

³²Traducción: "... la tradición no es un parásito ni un enemigo, sino una amiga..."

³³ El edificio de las Oficinas Larkin fue demolido en 1950, tras el declive de la compañía de jabones Larkin a pesar de la oposición de numerosos arquitectos.

³⁴ Cita de Reyner Banham para quien las comillas sirven para aclarar que el sistema sólo tenía tratamiento de refrigeración de aire y no de humedad.

³⁵ Traducción: "Existía una lección en la eliminación de lo insignificante y en la belleza del uso natural de los materiales"

Como se aprecia a la vista de las fotografías de las viviendas construidas bajo la *Prairie School* (Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26) los materiales más utilizados son la madera, el ladrillo, la piedra, y generalmente empleando sistemas constructivos tradicionales.

Figura 23. Casa Peter A. Beachy, (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1906). Fotografía de Lorena García Castro.

Figura 24. Complejo de Taliesin, (Spring Green, Wisconsin, EE. UU, 1911-25) Fotografía de autor desconocido.³⁶

Figura 25. Casa estudio de Frank Lloyd Wright (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1889). Fotografías de Jaime Beltrán.

³⁶ <http://imgkid.com/frank-lloyd-wright-taliesin-interior.shtml>

Figura 26. Casa Arthur y Grace Heurtley (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1902). Fotografía de Jaime Beltrán.

Wright había diseñado numerosas viviendas unifamiliares siguiendo las características de las *Prairie House*, de entre las que destacó la residencia para Frederick C. Robie House (Chicago, Illinois, EE. UU, 1908-09). Sin embargo, los grandes encargos de tipo administrativo fueron disminuyendo. En el ámbito personal, el arquitecto tampoco pasaba por un buen momento. Hacía varios años que se había enamorado de Mamah Borthwick Cheney, esposa de uno de sus clientes, y su actual mujer no le concedía el divorcio. Estas situaciones junto con la falta de encargos profesionales le hicieron partir a Europa en 1909 junto con Mamah, abandonando ambos a sus correspondientes familias, para trabajar en la publicación del *Wasmuth Portfolio*. El portfolio, publicado en 1910 en Alemania por Ernst Wasmuth³⁷, consiste en un monográfico de la obra de Wright. Sirvió como nexo de unión entre el arquitecto norteamericano y la primera generación de arquitectos europeos del *Movimiento Moderno*. Los arquitectos austriacos Rudolf Schiler y Richard Neutra emigraron posteriormente a Estados Unidos para trabajar con Frank Lloyd Wright³⁸.

La publicación del portfolio le dio renombre internacional y a la vuelta de su viaje por Europa comenzó de nuevo con su estudio de arquitectura y en los siguientes años tuvo dos grandes encargos: el primero en 1913 un centro de entretenimiento, los Midway Gardens³⁹ en Chicago y el segundo en 1916, el nuevo Hotel Imperial en Tokyo, Japón.

Mientras, Wright y Mamah habían comenzado la construcción de su vivienda y su estudio de trabajo cerca de Spring Green, Wisconsin, a la que dio el nombre de Taliesin⁴⁰ (Wright 1943, 167). Pero en 1914, un fuego ocasionado por uno de sus sirvientes con la intención de asesinar a varias personas, terminó con la vida de Mamah.

³⁷ Ernst Wasmuth fue un editor alemán. La publicación comprendía los trabajos del arquitecto desde 1893 hasta 1909.

³⁸ De la relación entre los arquitectos austriacos y Wright se ha dejado entrever una cierta reminiscencia del movimiento secesionista de Viena en la arquitectura *wirhgtiana*.

³⁹ Midway Gardens fue demolido en 1929.

⁴⁰ Taliesin es el nombre de un poeta galés que cantaba las glorias galesas del arte.

Este acontecimiento dejó a Wright devastado quien se dedicó a reconstruir Taliesin en memoria de Mamah, originando lo que él mismo denominó Taliesin II. Ya anticipando las ideas de ahorro energético, con la intención de crear un complejo autónomo energéticamente, diseñó un generador hidroeléctrico, sin embargo, no llegó a alcanzar el objetivo deseado. Esta edificación sufrió un nuevo incendio en 1925, lo que hizo que Wright volviera a reconstruirlo dando lugar a Taliesin III. Mientras tanto, el encargo del Hotel Imperial, le llevó a pasar largos períodos de tiempo en Japón, país y cultura que influyeron de forma decisiva en su arquitectura, como se verá más adelante. A su vez, varios proyectos en Los Ángeles, hicieron que trasladara su actividad a esta ciudad.

3.1.3. *Textile Block Houses* (1923-24)

Durante su estancia en Los Ángeles, Wright ensaya en sus diseños un nuevo sistema constructivo. Éste nace como un experimento basado en la construcción modular, sobre la que ya había investigado años anteriores, cuyo objetivo era desarrollar un sistema prefabricado y sencillo, de forma que pudiera ser incluso construido por los propios propietarios y accesible económicamente. Para ello decidió emplear el bloque de hormigón, por ser un material de construcción barato. Según sus propias palabras:

"What about the concrete block? It was the cheapest (and ugliest) thing in the building world. It lived mostly in the architectural gutter as an imitation of "rock face" stone" ⁴¹ (Wright 1943, 234).

Los bloques prefabricados de hormigón, eran realizados in-situ con arena procedente de la excavación de la cimentación de la propia vivienda con el fin de mimetizar el edificio con su entorno. Éstos eran tejidos entre sí a través de varillas de acero. Una doble fachada de bloques de hormigón se unía con llaves de atado metálicas, dejando un espacio entre ellas que albergaba las instalaciones, a la vez que hacía la función de aislamiento. Según Wright, esta doble fachada hará la casa fresca en verano, templada en invierno, permaneciendo siempre seca. El tamaño de los bloques estaba condicionado por su peso, entre 40-50 libras (entre 18 y 22 Kg) para ser manejado por una persona.

Durante la década de los años veinte, Wright proyecta cuatro viviendas en California empleando el sistema de *Textile Block*; la casa Storer (1923), La Miniatura o la casa Millard (1923), la casa Ennis (1924) y la casa Freeman (1924). Para ello diseña diferentes moldes creando distintas tipologías y acabados.

Estas viviendas fueron diseñadas empleando los mismos principios que en la etapa anterior, la *Prairie School*, en lo que a medioambiente se refiere. Fuerte relación con la naturaleza a través de las superficies acristaladas, a su vez protegidas por los voladizos; gran importancia de la orientación para la distribución de las estancias en el interior de la vivienda; empleo de una gran chimenea central como sistema de calefacción;

⁴¹ Traducción: *"Qué pasa con el bloque de hormigón? Es la cosa más barata (y fea) en el mundo de la construcción. Ha permanecido en lo más vulgar de la arquitectura como una imitación de roca"*.

construcción artesanal economizando en materiales y utilizando materiales locales.. Hay que señalar la diferencia que suponía el diseñar en la zona de Wisconsin, Illinois, donde construye las *Prairie Houses* y en California, con las *Textile Blocks*, en cuanto al clima. Se intuyen unas ideas de base que van a ser constantes a lo largo de su carrera y que originan soluciones formales diferentes, debido en gran medida a la diferencia del clima en que se encuentren. De lo cual se deduce la relación intrínseca entre arquitectura y clima que Wright propone en su arquitectura.

Figura 27. *Textile Block Houses*. Imagen de la construcción de la residencia para Mabel y Charles Ennis (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923) Fotografía de la Ennis House Foundation.

Figura 28. Detalle del sistema constructivo. Autor Richard Neutra (Wright 1954, 203)

Este sistema constructivo de las *Textile Block Houses* (Figura 27 y Figura 28), presentaba a priori numerosas ventajas:

- Construcción económica al tratarse de un material barato y fabricado a pie de obra, evitando el coste del transporte del material desde el punto de manufacturación a la obra.
- Sistema modular lo cual facilita su puesta en obra evitando la mano de obra cualificada, y disminuye los residuos de construcción.
- Plazos de ejecución cortos, lo cual supone una reducción en el presupuesto.

Pero la realidad y la experiencia de la época fueron diferentes. No está claro sobre cuáles fueron las razones por las que este sistema no llegó a alcanzar el éxito esperado. Bien fuera por tratarse de un sistema novedoso; el presupuesto y los plazos de la obra no se cumplían, o por ser el bloque de hormigón poco agradable como material de acabado. Ciertas fuentes (Beltran 2006) narran que la mezcla resultante para los bloques no era la adecuada haciendo la fachada permeable al agua y la correspondiente corrosión y mal estado de la estructura de acero que la ataba. Wright termina abandonando el sistema para más adelante retomarlo en la década de los '50 para sus casas *Usonian Automatic*, por sus ventajas económicas y su flexibilidad constructiva y modular.

3.1.4. Usonian Houses (1923-59)⁴²

Tras su experiencia en Los Ángeles, Wright regresa a su residencia de Wisconsin, Taliesin III, para continuar con su actividad de arquitecto. En 1928 contrae matrimonio con Olgianna, quien le apoyó en todas sus ideas implicándose en su actividad profesional y con quien vive hasta su muerte, 1959. En 1932, juntos, fundan la escuela de arquitectura *Frank Lloyd Wright* basada en el principio de *Learning by doing*.⁴³ Los primeros años, en los que los encargos escaseaban, los estudiantes, o *apprentices*, como Wright los denominaba, se encargaban de la reconstrucción y mantenimiento de la escuela, aprendiendo haciendo. En esta escuela se gestaron numerosos e importantes proyectos, como la casa de la Cascada o *Fallingwater* en Mill Run, Pensylvania (1934), y las ideas de un urbanismo utópico con la ciudad de *Broadacre City*. Para este nuevo modelo de ciudad, Wright diseña las viviendas *usonianas*, en las que se acentúan las ideas que venía aplicando hasta el momento.

⁴² Se considera que las características de la casa usoniana evolucionan hasta el final de su carrera, pero siendo los principios que las generan los mismos con los que Wright diseña la primera casa usoniana, la casa Jacobs I en 1934. Sin embargo, en su Autobiografía cita a la residencia para Alice Millard, La Miniatura, (Pasadena, California, EE. UU, 1923) como la primera casa *usoniana*.

⁴³ <http://taliesin.edu/history.html>. (28-01-2015) Traducción: "*Aprender haciendo*". Filosofía que se aplicaba en la escuela de arquitectura, en la que los estudiantes hacían todo, desde la comida, pasando por el mantenimiento de la escuela, trabajos de jardinería y por supuesto, el aprendizaje de la arquitectura. No se ha encontrado la cita en la que Frank Lloyd Wright hacer referencia exacta a este modelo filosófico de enseñanza, sin embargo, aparece en numerosa bibliografía referente a la escuela de arquitectura que Wright fundó junto a su mujer.

La palabra *Usonia*, según el propio arquitecto, fue empleada por Samuel Butler, escritor inglés del siglo XIX, para nombrar el país de Estados Unidos. Wright se apropió del término para referirse al paisaje norteamericano, así como a un modo de hacer arquitectura. Empleó el adjetivo *Usonian* para definir un nuevo tipo de vivienda, aplicando lo que él denominó el "*super-common-sense*"⁴⁴.

En su literatura se encuentran numerosas referencias a su preocupación por la vivienda de calidad, con un coste moderado y accesible a la clase media trabajadora. Esta preocupación vendría reforzada por la crisis que sufrió Estados Unidos en los años 20 y que culminaría con el crack del '29.

*"... the American "small houses" problem is still a pressing, needy, hungry, confused issue...". "I do not believe the needed house come from current education, ..., It is only super-common-sense that can take us the road to the better thing in building"*⁴⁵ (Wright 1954, 18)

A partir de esta fecha, Wright radicaliza su propuesta, que ya se vislumbraba en las *textile block*, de concebir viviendas accesibles, economizando en espacio, en material, en instalaciones, con una fuerte relación con la naturaleza y condicionadas al clima del lugar en que se encuentran.

Las casas *usonianas* se caracterizan por ser pequeñas, si bien el diseño arquitectónico y el tratamiento espacial no lo hace patente. Wright confiesa que sus diseños tienen como referencia la escala humana. De esta manera, los espacios se reducen siguiendo las proporciones del hombre. De todo ello deja constancia la publicación *Wright Sized Houses, Frank Lloyd Wright's Solutions for making small houses fell Big*⁴⁶, en la que su autora explica las estrategias espaciales empleadas por el arquitecto.

Tratando de economizar materiales encontramos la siguiente referencia en *The Natural House* (Wright 1954, 82):

"Now what can be eliminated? These:

1. Visible roofs are expensive and unnecessary.

2. A garage is no longer necessary as cars are made. A carport will do, with liberal over - head shelter and walls in two sides. ..."

"3. The old-fashioned basement, except for a fuel and heater space, ..."

⁴⁴ Traducción: "*super sentido común*".

⁴⁵ Traducción: "*El problema de las casas pequeñas americanas sigue siendo una presión, una necesidad, una penuria, un tema confuso...*". "No creo que la casa buscada venga a través de la educación actual, ..., Es, sólo, el super sentido común que nos llevará hacia una cosa nueva en la construcción."

⁴⁶ El libro presenta una serie de principios que Wright empleaba para hacer que menos pareciera más, a modo de guía para construir una vivienda de forma que parezca más espaciosa.

"4. Interior "trim" is no longer necessary.

5. We need no radiators, no light fixtures...."

"6. Furniture, pictures and bric-a-brac are unnecessary because the walls can be made to include or be them.

7. No painting at all. Wood best preserves itself. A coating of clear resinous oil would be enough. Only the floor mat of concrete needs waxing.

8. No plastering in the building.

*9. No gutters, no downspouts."*⁴⁷

En esta lista incluye todo aquello que no es necesario en la vivienda, todo aquello de lo que se puede prescindir, con el objetivo de realizar un diseño lo más económico posible a la vez que comfortable.

Sobre la calefacción, Wright decide prescindir de los radiadores afirmando que:

*"We will heat the house the "hypocaust way."*⁴⁸ (Wright 1954)

Como se explica más adelante, este sistema de calefacción también era empleado en Corea, que Wright conoce bien a través de sus viajes a Japón.

Sobre los materiales, Wright era partidario de emplear materiales en su estado natural, de ahí su actitud contraria hacia la pintura como acabado sobre la madera. En *The Natural House*, dedica un capítulo titulado *"Materials for their own sake"* ⁴⁹ a la Naturaleza de los Materiales, donde predica la coherencia del diseño arquitectónico con

⁴⁷ Traducción: *"¿Qué puede ser eliminado? Lo siguiente:*

1. Las cubiertas visibles (se refiere inclinadas) son caros e innecesarios

2. Un garaje ya no es necesario viendo cómo están hechos los coches. Un garaje abierto basta, con una amplia cubierta y muros en dos de sus lados..."

" 3. El sótano, pasado de moda, excepto para el depósito de gasóleo y para la calefacción..."

" 4. Las molduras interiores ya no son necesarias.

5. No necesitamos radiadores, ni luces fijas..."

" 6. Los muebles, los cuadros y los adornos son innecesarios, ya que las paredes pueden hacerse de forma que los alberguen.

7. Nada de pinturas. La madera se conserva mejor. Tal vez un lasur de un aceite resinoso claro será suficiente. Sólo el acabado de hormigón del suelo necesita una cera.

8. Nada de enfoscados en el edificio.

9. Ni canalón, ni bajantes"

⁴⁸ Traducción: *"Calentaremos la casa a la manera del hypocausto"* El hypocausto es un sistema de calefacción del suelo empleado por los romanos y utilizado sobre todo en las termas romana.

⁴⁹ Traducción: *"Materiales por su propio bien"*

la naturaleza de los materiales que componen el edificio. No es que estuviera predicando el empleo de materiales naturales, pues es de sobra conocido que Wright amaba los nuevos materiales como el vidrio y el hormigón viendo en ellos numerosas ventajas constructivas, si no que estaba a favor de emplear los materiales en su estado natural, es decir, el ladrillo como ladrillo, la piedra como piedra, el hormigón como hormigón, con sus características propias, a favor de la coherencia constructiva.

A lo largo de su literatura se encuentran numerosas referencias a la orientación de la vivienda en relación a sus estancias, siguiendo principios que hoy se consideran bioclimáticos y en relación con la naturaleza. Una característica común en sus casas *usonianas*, es la orientación del espacio del salón, generalmente mirando al sur con grandes superficies acristaladas, para recibir radiación del sol que dé lugar a la calefacción natural y cree un espacio iluminado de forma natural. Igualmente, estos espacios estarán abiertos hacia el jardín a través de la parte acristalada para incrementar la relación de los usuarios con la naturaleza.

Wright ha sido en numerosas ocasiones objeto de estudio por su innovación en la distribución de la vivienda y la correspondiente innovación en la forma de vivir. En la actualidad podemos ver similitudes entre la distribución en planta de la vivienda actual, no sólo en Estados Unidos si no en el resto del mundo, y la distribución de las viviendas *usonianas* de principios de S. XX. Pero este análisis formal no sería objeto del presente estudio si no fuera porque a su vez integra estrategias que mejoran el confort de la vivienda y que en la transposición de la planta wrightiana a la vivienda moderna, se han ido olvidando.

Por ejemplo, Frank Lloyd Wright es considerado el precursor de la planta donde la cocina y comedor se encuentran adyacentes al salón sin separación física:

"A natural current of air is thus set up towards the kitchen as toward a chimney, no cooking odors escaping back into the house" ⁵⁰ (Wright 1954, 89)

En la actualidad, esta disposición de vivienda es cada vez más habitual. La ventilación natural propuesta por Wright de forma inteligente, ha sido sustituida por la instalación de un sistema de extracción mecánico, con el correspondiente gasto energético, económico y el desagradable ruido que produce.

Una característica de la distribución de las viviendas *usonianas* es la ubicación del baño adyacente a la cocina, con el fin de economizar en instalaciones y aprovechar el calor que se produce en la cocina para calefactar el baño.

Concerniente a la calefacción, define lo que llama *Gravity Heat*, un sistema similar a lo que en la actualidad se conoce como suelo radiante. El sistema por él diseñado tuvo su origen durante su viaje a Japón en el invierno de 1914 con motivo de la construcción del

⁵⁰ Traducción: *"Una corriente natural de aire se origina tanto en dirección a la cocina como a la chimenea, ningún olor de la cocina se escapa hacia la casa."*

Hotel Imperial. Una de las habitaciones de la vivienda, conocida como la *habitación coreana*, estaba calefactada bajo suelo. Wright afirmaba que el microclima creado por medio de este sistema en que el calor sube desde el suelo de forma natural, origina un ambiente más agradable y permite tener una temperatura de confort menor, la cual fija en 65° F (18.3°C) (Wright 1954, 100).

En relación al aire acondicionado, Wright dedica un capítulo en *The Natural House*, comenzando con la siguiente frase:

"To me air conditioning is a dangerous circumstance" ⁵¹ (Wright 1954, 175)

afirmando que los cambios bruscos de temperatura que destroran un edificio también lo hacen con el cuerpo humano. Destaca la adaptación del cuerpo humano al medio en que se encuentra. Cuanto menor sea la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior mejor va a resultar la adaptación del cuerpo humano, lo cual en la mentalidad actual nos hace pensar en el consecuente ahorro energético.

Las actuales reglamentaciones térmicas tienden a disminuir en verano y a aumentar en invierno la temperatura de consigna con este objetivo.

En España, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE, modificó las temperaturas de consigna de 24°C a 26°C en verano y de 22°C a 21°C en invierno.

En Francia la Reglamentación Térmica, *Réglementation Thermique RTE 2012*, varía la temperatura de consigna de 18 a 21° C en invierno. Si se compara con la temperatura que fijaba Wright, 18.3°C, éstas siguen siendo elevadas. En el capítulo anterior se ha hecho un análisis de las implicaciones que tienen estos datos de temperaturas.

Wright en su literatura, destaca la ventaja que supone el aire en movimiento para disminuir la sensación de calor. Así propone un modo de actuar en climas cálidos; en primer lugar, protegerse de la radiación solar, y en segundo, abrir el edificio a las posibles brisas de aire, lo cual se trata sin lugar a dudas de una propuesta bioclimática.

Otra manera que propone Wright de combatir el calor en climas cálidos y húmedos es mediante una chimenea solar, creando corrientes naturales de aire que favorecen la ventilación natural. En las investigaciones realizadas por Baruch Givoni (2011) se encuentran numerosos estudios centrados en este sistema con el objetivo de reducir la temperatura interior.

Finalmente, realiza una crítica al uso indiscriminado del aire acondicionado para mantener las condiciones de confort deseadas sin tener en cuenta lo que sucede en el exterior, es decir, el clima. Rematando su opinión sobre dicho componente con la siguiente frase:

⁵¹ Traducción: "*Para mí el aire acondicionado es una circunstancia peligrosa.*"

*" I think it far better go with the natural climate than try to fix a special artificial climate of your own"*⁵² (Wright 1954, 178)

Frank Lloyd Wright muestra también su preocupación por el consumo extra de fuel generado como consecuencia de las grandes superficies acristaladas hacia las que han evolucionado sus viviendas. Si bien esto favorecía la radiación solar en invierno, una iluminación natural más abundante abriendo la vivienda a la Naturaleza, también generaba una gran pérdida de calor y su consecuente elevado consumo energético. Para evitar esto, Wright constata que el uso de acristalamientos dobles supondría un gran ahorro (Wright 1954, 98).

En relación al aislamiento, el arquitecto dedica varias páginas en *The Natural House* al tema (Wright 1954, 85, 158-161) haciendo una referencia a la cubierta vegetal, tal y como se conoce en la actualidad, como solución para aislar la vivienda:

*"On top of the building there will be-say-about sis-teen inches of good fertile earth in which may be planted grass or whatever you please to plant. There is the most natural insulation than can be devised. Probably the cheapest"*⁵³ (Wright 1954, 161)

A través de la exposición de los principios que caracterizan las casas *usonianas*, se puede concluir que responden claramente a las ideas de la arquitectura bioclimática, ecológica y sostenible de la actualidad.

Durante esta etapa Wright diseña y construye, según sus propias palabras (Wright 1954), más de cien viviendas a lo largo de Estados Unidos. De entre ellas cabe destacar la que se considera la primera casa *usoniana*, que diseñó para Herbert y Katherine Jacobs en Madison, Wisconsin en 1934 (Figura 29). Como se expondrá más adelante, esta vivienda es considerada un buen ejemplo de arquitectura bioclimática.

⁵² Traducción: "Yo pienso que es mucho quedarse con el clima natural que tratar de arreglar un ambiente artificial creado por uno mismo"

⁵³ Traducción: "En la cubierta del edificio habría- digamos- alrededor de dieciséis pulgadas" (40 centímetros) "de tierra fértil en la cual se plantaría hierba o lo que a usted le guste. Ahí tiene el aislamiento más natural que se puede concebir. Probablemente el más barato."

Figura 29. Casa Jacobs I (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1936). Vista de la fachada oeste hacia el norte. (Wright 1954, 86).

En 1933, la escuela decide trasladarse durante los inviernos al estado de Arizona, donde el clima es mucho más suave que en Wisconsin. Dos años más tarde Wright compra un terreno en el desierto cerca de Scottsdale y comenzaron a construir lo que será Taliesin West, según las propias palabras del arquitecto:

"The plans were inspired by the character and beauty of the wonderful site" ⁵⁴ (Wright 1943, 453).

Según cuenta en su autobiografía el complejo edificado parecía haber sido excavado en el desierto. Siguiendo sus ideas, los materiales empleados fueron los que encontraron en las proximidades. Así los muros de los edificios fueron contruidos mediante un sistema constructivo llamado *masonry desert* (Figura 30Figura 31).

Figura 30. Taliesin West (Scottsdale, Arizona, EE. UU, 1937-59). Vista de la entrada principal donde se aprecian los muros *masonry desert*. Fotografía del autor.

⁵⁴ Traducción: "Los planos fueron inspirados por el carácter y la belleza del maravilloso emplazamiento."

Figura 31. Taliesin West (Scottsdale, Arizona, EE. UU, 1937-59). Vista de la sala de dibujo donde se aprecia la estructura de madera y la importancia de la luz natural. Fotografía del autor.

Este sistema constructivo consiste en muros estructurales realizados in-situ, mediante un encofrado de madera relleno de rocas encontradas en el desierto y hormigón realizado con arena también del desierto. Las rocas empleadas recibían el nombre de *one-man* o *two-men rock* dependiendo de cuántas personas se necesitaban para transportarlas. Las *three-men rock* fueron empleadas para la cimentación del complejo. La importancia de la luz natural en sus diseños se aprecia claramente en esta construcción (Figura 31). Durante los primeros años, la cubierta estaba compuesta por una tela de color claro fijado a la estructura de vigas de madera, dejando pasar la claridad iluminando de forma natural el interior del edificio. Sin embargo, años más tarde, los lienzos fueron sustituidos por cristal (Wright 1943).

Aunque la palabra *Usonia* hacía referencia a la vivienda, en sus otros proyectos subyacen las mismas ideas. Como se puede deducir del estudio de Taliesin West; el empleo de materiales locales y en su estado natural, ventilación e iluminación natural, despojarse de los elementos innecesarios, construcción fuertemente ligada a la naturaleza y siempre condicionada por el clima.

Wright continua la labor docente en su escuela de arquitectura junto a Olgivanna hasta su muerte y en la actualidad es una reconocida escuela de arquitectura. La escuela tiene su base en Taliesin West durante los meses fríos y en los meses más calurosos se trasladan a Taliesin III, en Wisconsin donde los veranos son más suaves que en Arizona. En este sentido se puede ver una nueva adaptación al clima por parte de Wright a través del desplazamiento.

3.1.5. *Usonian Automatic* (1948-1959)

Como evolución de sus propuestas anteriormente mencionadas, *Textile block* y *Usonia*, Wright desarrolló el sistema constructivo *Usonian Automatic* con el objetivo, siempre

presente en su arquitectura, de construir una vivienda de presupuesto moderado y confortable para los usuarios. Se trataba de un sistema en el que incluía las ideas anteriores, tratando de reducir el coste de la mano de obra, tan elevado después de la Segunda Guerra Mundial tanto en lo que a habilidad en la ejecución de la obra se refiere como a los plazos de construcción.

El sistema empleado en las viviendas *Usonian Automatic* se inspira en el de las *Textile Block*, pero más evolucionado. Los bloques de hormigón eran igualmente fabricados en la obra, pero son de mayor tamaño, generalmente de 1'-0'' x 2'-0'' (30.48 x 60.90 cm), para realizar una construcción más rápida aún, facilitando la autoconstrucción, disminuyendo los residuos en la obra y abaratando los costes.

Los bloques de hormigón eran unidos entre sí por medio de redondos de acero colocados en las ranuras de las juntas, vertical y horizontalmente. Una mezcla de lechada se vertía en los huecos recubriendo los redondos (Figura 32Figura 33).

Debido a su flexibilidad modular se pueden realizar diferentes viviendas, cada una acorde a las necesidades del propietario y al entorno en que se construyen.

Para simplificar la construcción, las instalaciones también se suministran prefabricadas, y eran conectadas a la red general de forma sencilla.

Figura 32. Detalles de construcción de vivienda *Usonian Automatic*. (Wright 1954, 201).

Figura 33. Fotografía de la construcción de vivienda *Usonian Automatic* (Wright 1954, 200). Fotografía de Helen Levitt.

Wright había pensado este sistema modular en que los bloques de hormigón eran fabricados in situ sin mano de obra especializada. A priori con una variedad pequeña de bloques podría construirse cualquier diseño de vivienda. Pero la realidad fue otra bien diferente. La prefabricación de los bloques no era tan sencilla como podía parecer y la cantidad diferente de los mismos lo hacía aún más costoso. En la actualidad sólo diez viviendas han sido construidas siguiendo este sistema.

En 1988 una exposición sobre el arquitecto llamada *Frank Lloyd Wright: In the Realm of Ideas*, recorre Estados Unidos durante dos años, con un modelo a escala real de una vivienda construida con este sistema. El objetivo de la exposición no era presentar el sistema creado por Wright como una respuesta al problema de la vivienda de aquella época, sino demostrar el potencial de la construcción modular del sistema *Usonian Automatic* (Figura 34).

Figura 34. Modelo a escala real de vivienda *Usonian Automatic* diseñada por Wright en 1955. Exposición de 1988 *Frank Lloyd Wright: In the Realm of Ideas*"⁵⁵.

Según E. Thomas Casey (1988), arquitecto discípulo de Wright, este sistema podría ser revisado empleando tecnología actual como hormigón aligerado o un sistema de manufacturación más eficaz, alcanzando las ventajas constructivas de la arquitectura modular que Wright vislumbraba años atrás.

En la última década de su vida, Wright recibe encargos de gran envergadura como los edificios de la S. C. Johnson Company, en Racine, Wisconsin terminados en 1950; o el Museo Guggenheim de Nueva York, cuya construcción terminó seis meses después de la muerte del arquitecto en 1959. En ambos proyectos el confort interior según el uso de destino es uno de los condicionantes principales de su arquitectura, llegando a ser la iluminación natural uno de los más importantes, lo cual queda plasmado en la importancia de los lucernarios de los dos edificios (Figura 35 y Figura 36).

⁵⁵ M.K. Hurd, Concrete in housing. Usonian Automatic: Wright's concrete masonry. Full-sized house in travelling show, 1988

Figura 35. Edificio administrativo de la compañía S. C. Johnson, (Racine, Wisconsin, EE. UU, 1936-39 y 1950), imagen del interior donde se aprecia el lucernario que compone la cubierta del espacio central. Fotografía de autor desconocido.

Figura 36. Museo Guggenheim de Nueva York, imagen del lucernario que compone la cubierta del espacio central del museo. Fotografía de autor desconocido.

3.1.6. Planeamiento Urbano; *Broadacre City* (1932-1959)

Pero la vivienda *usoniana* era parte de un conjunto, un nuevo modelo de ciudad que Wright bautiza con el nombre de *Broadacre City*. Esta idea urbanística comienza en la década de los años 30, y evoluciona paralelamente a la vivienda *usoniana* durante el resto de su carrera. En 1932 Wright publica *The Disappearing City* (Wright 1932) en el que expone por primera vez los principios de este nuevo y utópico desarrollo urbano. Según su planeamiento, cada familia dispondría de un acre, aproximadamente 4.000 m² de tierra donde construiría su vivienda, *usoniana*, y donde tendría el espacio suficiente para crear su propia huerta, fomentando la relación y el acercamiento del hombre con la naturaleza que se había ido perdiendo en las ciudades tras la Revolución Industrial.

Los dos nuevos avances tecnológicos sobre los que se apoyaría la estructura de la ciudad, serían:

- el automóvil, con las ventajas que conlleva en cuanto a movilidad
- la radio, el teléfono y telégrafo.

Ya en los años 30, Wright fue capaz de vislumbrar las ventajas y los cambios que iban a aportar estos dos nuevos adelantos. Gracias al avance de las telecomunicaciones, los desplazamientos, por ejemplo, al trabajo ya no serían necesarios, tal y como se concibe en la actualidad el teletrabajo. Pero este planteamiento tenía también una parte socio-política, pues trataba los derechos sociales del hombre en cuanto a distribución de la riqueza y de la tierra. En numerosas ocasiones se cita el modelo de *Broadacre City* como un modelo social utópico, pues pretende ser capaz de resolver los problemas sociales de la sociedad a través del diseño, siendo en numerosas ocasiones, imposible de realizar.

Wright pretendía crear una ciudad mezclando los usos residenciales de baja densidad con el transporte, el comercio, la agricultura y preservando y acercando los espacios naturales. En sus diseños, se tenía especial cuidado en la ubicación de los edificios, sobre todo aquellos de gran altura, para evitar que proporcionaran sombra a otros edificios o sobre los espacios naturales. No suponía una vuelta utópica a la forma de vida del pasado, se trataba de un acercamiento a la naturaleza, a la agricultura como un sistema de autosuficiencia de las familias, pero siempre contando con los medios que los avances tecnológicos aportan, lo cual se deduce del carácter futurista de las últimas imágenes que Wright publica sobre *Broadacre City* en *The Living City* (Figura 37).

Figura 37. Imagen de la ciudad de *Broadacre City* publicada en *The Living City* (Wright 1958).

La ciudad no fue nunca construida como tal, pero numerosos son los urbanistas que ven en el desarrollo suburbano americano del S. XX, y que ha sido posteriormente copiado en Europa, las estructuras que Wright pretendía. Sin llegar a constituir las mismas ideas, el resultado formal puede parecerse. Un urbanismo basado en el automóvil y como Wright dijo, las viviendas se distinguirán por ser *one-car house* o *two-car house* hasta la *five-car house* (Architectural Record 1935).

Se puede ver un cierto paralelismo en la idea de *Broadacre City* y la tendencia actual de los huertos urbanos, teniendo en cuenta la diferencia de escala que existe entre Estados Unidos y Europa.

Frank Lloyd Wright muere el 9 de abril de 1959 con casi 92 años dejando un legado construido de gran importancia y una forma de hacer arquitectura que culminó con lo que él mismo denominó *Organic Architecture*.

3.2. *Organic Architecture*

En el capítulo anterior se ha tratado de exponer la evolución continua y lógica de la extensa y larga carrera de Wright, basada siempre en una relación de simbiosis con la naturaleza.

No se trata de una relación basada en el objetivo de la conservación del medioambiente, que es uno de los objetivos de la arquitectura ecológica, sostenible; si no de una relación de amor y respeto con el fin de alcanzar la felicidad a través de la arquitectura, el confort interior; y como resultado lógico de esta relación de simbiosis, la conservación del medioambiente. Wright definía arquitectura orgánica como aquella que era apropiada al lugar a las personas y a su época, y diseñada basándose en ellos. Sin embargo, es necesario añadir, que esta aproximación a la naturaleza no era contraria a la tecnología. Como se expone a continuación, el arquitecto quiso y supo conectar su arquitectura con los avances tecnológicos de su época.

Esta evolución de su forma de construir y de pensamiento Wright la denominó *Organic Architecture*.

En su obra *The Natural House*, Wright deja constancia de sus ideas de diseño basadas en principios bioclimáticos tal y como lo entendemos en la actualidad, que se acentúan a medida que evoluciona su obra.

Wright deja constancia de la estrecha relación que debe existir entre arquitectura y Naturaleza:

*"..., but Architecture in all aspects is to be studied as environment, as the nature of materials to be used, as the forms and proportions of Nature itself in all her forms- sequences and consequences. Nature is the great teacher- man can only receive and respond to her teaching."*⁵⁶ (Wright 1954, 186).

Y como él mismo anunció:

*"instead of Organic we might well say natural building."*⁵⁷ (Wright 1954, 51)

3.3. *Organic Architecture* y Arquitectura Bioclimática

Con el presente estudio se trata de analizar la arquitectura bioclimática tomando como referencia la obra del arquitecto norteamericano Frank Lloyd Wright quien ha sido calificado como genio por numerosos arquitectos e historiadores, pero por sus resultados formales, y no tanto por su contribución a la arquitectura ecológica sostenible tal y como la entendemos hoy en día.

3.4. Referencia de la Arquitectura de Frank Lloyd Wright como Arquitectura Bioclimática

Tras el análisis realizado, se deja una clara constancia de la relación existente entre su obra y la arquitectura bioclimática tal y como se comprende en la actualidad. Además, numerosos son los estudios y tratados sobre arquitectura bioclimática y desarrollo sostenible que citan a Frank Lloyd Wright como precursor y pionero de estas ideas en la primera mitad del siglo XX. A continuación, se va a exponer un resumen de la documentación encontrada relacionada.

- *The architecture of the well-tempered environment* de Reyner Banham.

⁵⁶ Traducción: “..., pero la Arquitectura en todos sus aspectos debe ser estudiada como el entorno, como la naturaleza de los materiales a emplear, como las formas y las proporciones de la Naturaleza misma, en todas sus formas- secuencias y consecuencias. La Naturaleza es el gran maestro- el hombre sólo puede recibir y responder a su maestro.”

⁵⁷ Traducción: “en vez de Orgánico deberíamos decir construcción natural”

Reyner Banham (1969) en el libro *The architecture of the well-tempered environment* nombra en repetidas ocasiones a Wright, afirmando, por ejemplo, dentro del capítulo que dedica a las instalaciones de calefacción y de iluminación, que éste debe ser reconocido como el primer maestro de la arquitectura medioambiental (Banham 1954, 95). A lo largo del libro, lo demuestra a través de ejemplos concretos del arquitecto.

En la segunda edición (1984), encontramos las siguientes palabras de Reyner sobre Wright al final del libro:

*"Il n'est pas toujours facile d'identifier les vrais héritiers de Wright; l'aspect extérieur de leurs réalisations ne trahit parfois rien du savoir-faire que a permis leur conception, et même l'intérieur ne révèle souvent presque rien sauf aux yeux des experts capables d'apprécier le comportement environnemental d'une maison dans son ensemble"*⁵⁸
(Banham [1969] 1984).

Con estas líneas dedicadas al arquitecto, pone de manifiesto que su contribución a la arquitectura debe incluir el comportamiento medioambiental de sus diseños tomado en su conjunto, aspecto, según Banham sólo capaz de ser apreciado por los ojos de un experto, lo cual va a demostrarse a lo largo del presente trabajo. Además, revela que la aportación de Wright en cuanto a innovación en los sistemas de acondicionamiento y, en general, a la arquitectura medioambiental, no radica en la novedad de las tecnologías empleadas, pues utiliza sistemas ya existentes y en numerosos casos tradicionales como la chimenea, si no, en la modernidad con la que los usa.

- *Bioclimatic underground architecture: development and principles* (Stojic y Stankovic 2009, 135-144).

En el artículo sobre arquitectura bioclimática enterrada, se cita a Frank Lloyd Wright y a Le Corbusier como pioneros de la Arquitectura Orgánica, y precursores de los movimientos ecologistas posteriores.

- *Green design aesthetics: Ten principles* (Cooke 2012).

Philip Cooke propone en su artículo una reflexión sobre el trabajo de ciertos arquitectos y diseñadores que han transmitido un cierto tipo de *green aesthetic*, afirmando que debería volver a evaluarse la contribución de la arquitectura de Frank Lloyd Wright buscando una consistencia futura, con sus ideales de Arquitectura Orgánica. Cooke califica la obra de Wright como arquitectura ecológica y sostenible.

- *Frank Lloyd Wright in the 21 st century* (Burns 2000).

⁵⁸ Traducción: "No es fácil el identificar la verdadera herencia de Wright; el aspecto exterior de sus realizaciones no llega a revelar nada sobre el saber hacer que ha permitido su propia concepción y de la misma manera, el interior no suele revelar apenas nada, excepto a los ojos de expertos capaces de apreciar el comportamiento medioambiental de una vivienda en su conjunto."

Robert Burns, en el año 2000, declaró a Wright el primer arquitecto sostenible del S. XX. Se pregunta, si a principios del siglo XXI, merece la pena pararse a reestudiar la obra de Frank Lloyd Wright, quién falleció hace 40 años. No duda en que concibió obras maestras de la arquitectura, pero la pregunta que se debe plantear es si en su obra se encuentran conceptos de actualidad. Además del confort interior agradable que se experimenta en sus edificios, Burns declara que existen tres razones por las que debemos retomar la figura de Wright, para el presente estudio vamos a considerar las dos primeras:

- Considera a Frank Lloyd Wright como el primer *Green Architect*, por la armonía hacia la naturaleza de su construcción. Las viviendas de la *Prairie School* construidas con materiales naturales, reciclables, calefactadas de forma natural, han sido descritas como *as the best prototypes of true environmental houses*.⁵⁹
- Gran preocupación por parte del arquitecto por la vivienda accesible. En numerosas ocasiones ha sido criticado por realizar proyectos para clientes adinerados. Pero no es del todo cierto. Con las casas *usonianas*, Wright pretendía diseñar viviendas accesibles económicamente al ciudadano medio, de tamaño reducido con materiales de bajo coste.
- Arquitectura Adaptada al Clima en el Movimiento Moderno: Le Corbusier (1930-1960) (Requena 2011).

En esta Tesis, cuyo objetivo es el arquitecto Le Corbusier, el autor vuelve a nombrar a Wright como pionero en el movimiento bioclimático. Requena presenta numerosos proyectos de Wright como ejemplo de arquitectura adaptada al clima y lo considera innovador en el uso de las instalaciones con la tecnología de la que disponían en aquella época.

- *Frank Lloyd Wright. A precursor of Sustainable Architecture* (Jiménez 2011).

Según Inmaculada Jiménez, su búsqueda del equilibrio y armonía con la naturaleza crearon un nuevo orden de arquitectura, afirmando que Wright aplicaba principios de sostenibilidad, tal y como se entiende hoy en día, de forma espontánea. El artículo presenta un breve análisis de los proyectos más emblemáticos del arquitecto. Concluye que a través del estudio de su obra se puede observar que todavía, a día de hoy, no se ha alcanzado un grado de preocupación en la relación entre sostenibilidad y armonía con la naturaleza como había logrado Wright.

- *Redefining library learning Facilities in Malaysia: Lesson from Frank Lloyd Wright sustainable approach in spatial and landscape design* (Utaberta 2011).

Otros estudios se basan en su arquitectura como modelo de diseño. Este artículo analiza la relación de la arquitectura de Wright con la naturaleza como fuente de inspiración para el diseño de bibliotecas al aire libre en Malasia.

⁵⁹ Traducción: "los mejores prototipos de viviendas medioambientales"

- *Frank Lloyd Wright's Sacred Architecture. Faith, Form, and Building Technology* (Geva 2012).

Este libro representa una primera aproximación a la arquitectura religiosa diseñada y construida por Wright, basándose en la fe, en la forma y en la tecnología constructiva. El capítulo 14 titulado *Thermal Comfort* (Geva 2012, 231-251) analiza el confort térmico dentro de los edificios religiosos, enunciando los diferentes mecanismos empleados por Wright para alcanzarlo. Se comprueba que para ello se servía de sistemas de aclimatación pasivos como son la ventilación y la calefacción naturales. Además, muestra un análisis a través de una simulación por ordenador para comprobar que efectivamente estos sistemas de aclimatación pasivos responden a soluciones eficientes. En el capítulo en que se aborda el concepto de confort térmico, se va a analizar con más detalle las herramientas utilizadas para ello.

- *An Autobiography* (Wright 1943), *The Natural House* (Wright 1954), *A Testament* (Wright 1957).

A lo largo de su vida, Frank Lloyd Wright escribe varios libros. En ellos expresa los principios de la arquitectura orgánica sobre los que se basa su forma de concebir proyectos. Como se ha ido demostrando en el análisis biográfico, existen numerosas referencias que ponen de manifiesto la fuerte relación entre arquitectura y clima, cómo ésta está condicionada por los condicionantes exteriores, y cómo su concepción arquitectónica está ligada a la naturaleza, a través de la admiración y el respeto. Del mismo modo, se comprueba cómo el confort interior de los usuarios es uno de los objetivos principales de su forma de proyectar. Sus edificios deben ser construidos para ser habitados de forma agradable.

La arquitectura de Frank Lloyd Wright ha sido objeto de numerosas exposiciones, pero generalmente resaltando el aspecto formal de su obra. No tan numerosas han sido aquellas en las que el objetivo era el carácter medioambiental de su arquitectura. Ya que como decía Banham (1984), sólo los ojos de un experto son capaces de apreciar el comportamiento medioambiental de su arquitectura.

- *Frank Lloyd Wright: In the Realm of Ideas*

En 1988 la exposición *Frank Lloyd Wright: In the Realm of Ideas*, a la que ya se ha hecho referencia al tratar el sistema constructivo *Usonian Automatic*, recorre Estados Unidos con un modelo a escala real de una vivienda de 1.800 pies cuadrados (167.22 m²) diseñada por el arquitecto en 1955, pero jamás edificada. Esta vivienda estaba diseñada con este sistema, pero se remplazaron los bloques de hormigón por bloques compuestos por un núcleo de poliestireno cubierto por una pintura a base de cemento. El objetivo de la exposición era demostrar las posibilidades constructivas y las ventajas de la construcción modular del sistema *Usonian Automatic*.

- *Frank Lloyd Wright: organic architecture of the 21st century*

En febrero 2011, con motivo del 100 aniversario de Talisin III en Spring Green, Wisconsin, se celebra la exposición *Frank Lloyd Wright: organic architecture of the 21st century* en el museo *Milwaukee Art Museum*, describiendo a Frank Lloyd Wright como precursor de la arquitectura sostenible del S. XXI. A través de la exposición se puede comprender la preocupación del arquitecto por la eficiencia de material y espacio, el uso razonable de los materiales industrializados atendiendo al entorno, así como el importante papel que juega la luz natural en su arquitectura, temas de gran actualidad. Esta exposición, igualmente resalta la importancia del urbanismo diseñado por Wright y que quedó plasmado en su idea utópica de *Broadacre City*.⁶⁰

- *Frank Lloyd Wright at 150: Unpacking the Archive*⁶¹

Con motivo del 150 aniversario del nacimiento del arquitecto, el Museo de Arte Moderno de Nueva York, el MOMA, organiza una exposición en verano de 2017, que presenta a Wright como un diseñador y un intelectual radical. En la exposición se presentarán 450 obras a través de dibujos y maquetas, muchas provenientes del archivo de la fundación Frank Lloyd Wright.

3.5. Edificios de Frank Lloyd Wright analizados desde el punto de vista medioambiental.

En el siguiente apartado se va a exponer la documentación encontrada que hace referencia al análisis concreto de un edificio de Frank Lloyd Wright en términos medio ambientales, de arquitectura bioclimática, ecológica y/o sostenible.

Los distintos estudios aparecen por orden cronológico del edificio al que hacen referencia.

3.5.1. Edificio de oficinas Larkin, (Buffalo, Nueva York, EE. UU, 1903-05)

Como ya se ha citado anteriormente, Reyner Banham, en el libro *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, (1969) describe el edificio Larkin como una pieza maestra en de la arquitectura moderna. Pero no sólo por su aspecto exterior y su espacio interior, si no por su sistema de gestión medioambiental, condicionado por el entorno en que se construye. El edificio constituye una de las primeras integraciones entre arquitectura e instalaciones, con un sistema de climatización integrado en el diseño, generando un espacio agradable física y psicológicamente en un ambiente contaminado. El edificio se ubicaba en una zona próxima a las vías de los trenes de la línea *New York Central*.

Wright para lograr iluminación natural, a pesar de contar en aquella época con la tecnología para crear ambientes interiores artificialmente, diseña un espacio central de gran altura con un gran lucernario (Figura 38).

60 Exposición: Frank Lloyd Wright: Organic Architecture for the 21 st Century, 15 febrero- 15 mayo 2011, Milwaukee Art Museum, Phoenix Art Museum, Frank Lloyd Wright Foundation

61

Figura 38. Edificio de oficinas Larkin. Vista del interior del edificio donde se aprecia el espacio central con el gran lucernario de cubierta.⁶²

Figura 39. Edificio de oficinas Larkin. Vista del exterior (Banham [1969] 1984, 87).

Para la ventilación del edificio, el aire exterior es introducido al interior por la parte superior de las torres que flanquean el edificio y a través de las mismas descienden al local de tratamiento, calentándolo o enfriándolo. El aire tratado, a través de los conductos embebidos en las torres es transportado a cada planta y distribuido horizontalmente a través de rejillas bajo los balcones.

Según Banham, la forma final del edificio viene impuesta por el método de gestión medioambiental utilizado, condicionado por el entorno.

3.5.2. La casa Frederick C. Robie, (Chicago, Illinois, EE.UU, 1908-09)

Reyner Banham, también en su libro *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, realiza un análisis de la Casa Robie, afirmando que, efectivamente, ésta ha sido protagonista en numerosas ocasiones por su aspecto formal y no tanto por sus innovaciones y ventajas ambientales, y declara que más bien éstas sólo han sido objeto de alguna nota a pie de página. Sin embargo, para Banham, las viviendas del *Prairie School* y en concreto la Casa Robie,

*“This last, and finest of the Prairie houses...”*⁶³ (Banham 1969, 115)

⁶² http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Archivo:Edificio_Larkin_6.jpg

⁶³ Traducción: sobre la Casa Robie: *“La última y la más sofisticada de las casas Prairie”*.

representan un claro ejemplo en materia de gestión medioambiental por la correcta combinación de los sistemas mecánicos y la forma estructural de sus edificios.

La entrada se produce a través de un patio orientado al Norte y protegido del sol de poniente por un enorme voladizo (Figura 40). Según Banham, incluso en los meses de verano en que el clima de Chicago es tremendamente húmedo y caluroso, el acceso permanece fresco, evitando así la entrada de aire caliente a la vivienda.

Figura 40. Casa Robie Vista de la entrada a la vivienda.⁶⁴

Figura 41. Casa Robie Vista interior del salón con la cristalería al norte donde se aprecian a nivel de suelo las rejillas por donde sale el calor de los radiadores y las rejillas de iluminación encastradas en el falso techo. Fotografía de Jaime Beltrán.

Figura 42. Casa Robie. Vista del gran salón donde se muestran las grandes superficies acristaladas. Fotografía de Jaime Beltrán.

⁶⁴ <https://inarqadia.wordpress.com/tag/frank-lloyd-wright/> (Escribir para pedir permiso, en teoría si, y basta con nombrarlo)

El gran salón - comedor, ubicado en la planta principal, se encuentra acristalado en casi tres cuartas partes de su perímetro (Figura 42). Esta gran superficie acristalada se encuentra protegida por los tan característicos voladizos, que hacen a la casa Robie inconfundible, de diferentes dimensiones en función de la orientación, según la necesidad de protección del sol y de las lluvias. En relación a los voladizos Banham escribe:

“Some have seemed surprised that the projections of the eaves on the south side of the house seem slight compared with those to the east and west, and doubt that it is sufficient to shade the glass. In fact – the sun stands tall in summer in Chicago’s latitude, and at mid-day on Midsummer day, the shadow of the eaves just kisses the woodwork at the bottom of the glass in the doors to the terrace”⁶⁵. (Banham 1969, 121)

Todas las ventanas son practicables para permitir la correcta ventilación cruzada y evitar el sobrecalentamiento en verano.

Por otro lado, casi todas las ventanas practicables poseen debajo un elemento de calefacción: las ventanas orientadas al norte, vienen acompañadas de radiadores a nivel de suelo encastrados en unos nichos; existen tuberías de agua caliente en la parte trasera de los armarios bajo las *bay-windows*, con ranuras en la superficie permitiendo la circulación de aire caliente. Bajo las puertas- ventanas que dan acceso a la terraza, había sido prevista la instalación de unos radiadores encastrados en el suelo y protegidos por unas rejillas de latón. Se desconoce si éstos fueron o no instalados, pero el espacio destinado para ellos existe, además de una tubería de agua caliente reservada para dicha instalación. La vivienda ha sido en numerosas ocasiones criticada por su dificultad en calentarse; debido, tal vez, a la falta de calefacción prevista sumado a la falta de aislamiento térmico. Los dueños de la vivienda, posteriores a los Robie, instalaron radiadores independientes, en cada esquina de la estancia, no siendo éstos los elegidos por Wright.

Sin embargo, en los meses de verano, la inercia térmica de sus materiales, así como la protección de las superficies acristaladas la hacen templada. (Iffrig 2013)

Al igual que integra en el diseño los elementos de control de climatización, Wright lo hace con el sistema de iluminación. Existen una serie de elementos de iluminación puntual con lámparas diseñadas por Wright; pero la iluminación general del salón se genera a través de la instalación integrada en la estructura del edificio. Jugando con la composición de los huecos en fachada, se encuentran encastradas en el falso techo unas

⁶⁵ Traducción: *“Alguno parecen sorprendido que los voladizos del lado sur parecen escasos comparados con aquellos de las fachadas este y oeste, y dudan de que sean suficientes para dar sombra a la parte acristalada. De hecho, el sol se encuentra alto en verano en la latitud de Chicago, y a mediodía en un día de mitad de verano, la sombra de los voladizos roza la carpintería de madera en la parte inferior de las puertas de la terraza”.*

rejillas de madera de roble, que contienen unas lámparas eléctricas cuya intensidad es controlada con un regulador, creando una iluminación agradable.

Pero estas rejillas de madera tienen una doble función:

- Para refrescar la vivienda en verano, los aleros de cubierta poseen unos huecos por los que entra el aire fresco, circulando entre la cubierta, evitando así el sobrecalentamiento.
- Sin embargo, en invierno, según palabras de Wright, *estos huecos se cierran fácilmente*, y para calentar el espacio bajo cubierta, se sirve de las rejillas de iluminación, por las que entra aire viciado de la casa, que es calentado por las bombillas, y es expulsado a través de unos conductos de extracción situados en la chimenea para ello.

Como Banham declara en su libro, la modernidad o la innovación en los sistemas de acondicionamiento empleados por Wright no radica en la novedad de la tecnología si no en la modernidad con que los usa. El caso de la casa Robie, construida hace más de 100 años, corrobora esta teoría, los sistemas que utiliza, chimenea, radiadores, ventilación cruzada y natural, corresponden a sistema empleados de forma tradicional y no requieren una tecnología especializada.

3.5.3. *American System-Built Homes*. (Milwaukee, Wisconsin, EE. UU, 1912-19)

Con este nombre se designan un grupo de viviendas de pequeño tamaño diseñadas por Wright entre 1912 y 1916 con el objetivo de crear casas de precio moderado. Fue un intento de estandarizar la construcción en el que la estructura, de madera, venía cortada y preparada para ser montada de la fábrica, facilitando el trabajo en la obra y disminuyendo los plazos de construcción y los residuos en la obra. Los diseños eran estándar y el cliente podía elegir entre siete modelos diferentes.

Su reducido tamaño y el sencillo sistema de construcción, hicieron que estos modelos fueran accesibles económicamente a la clase media trabajadora. Pero es, además, por su inteligente sistema de ventilación, la razón por la que hoy en día han suscitado un gran interés.

Figura 43. Vista de las seis viviendas en la calle West Burnham, (Milwaukee, EE. UU). Fotografía de The Journal Sentinel Archives.

En un artículo en el que se describe el grupo de 6 viviendas construidas con este sistema en Burnham Street, Historic District, Milwaukee, Wisconsin, (Estados Unidos) (Figura 43), se encuentra la siguiente cita, afirmando cómo Wright empleaba sistemas de ventilación natural que parecen haberse inventado por los arquitectos ecologistas contemporáneos.

*"Even the ventilation system, which invisibly breathes fresh air in and out, sounds an awful lot like the inventions of today's green architects."*⁶⁶

A la vista de la imagen, las características típicas de Wright se hacen patentes; superficies acristaladas que conectan con el exterior, voladizos que las protegen del sol, sistema constructivo sencillo y viviendas de tamaño modesto, que, gracias a las estrategias arquitectónicas de Wright, parecen más grandes. En relación al tamaño, la autora del artículo hace un paralelismo entre la arquitectura ecológica centrada en reducir la superficie habitable y este tipo de diseño.

3.5.4. La casa Freeman, (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923-24) (Schiller y Brahmbhatt 2006)

Se trata de una de las cuatro viviendas diseñadas por Wright en Los Ángeles empleando el sistema *Textile Block*. La casa consta de dos plantas, la planta baja permanece en uno de sus lados enterrada, aprovechando el aislamiento e inercia térmica que el terreno puede aportar y abierta al sur captado la radiación solar a través de las superficies acristaladas, con la siempre constante característica de la protección solar a través de grandes voladizos. La planta primera sigue este mismo principio.

⁶⁶ Traducción: "Incluso el Sistema de ventilación que de forma invisible introduce y expulsa el aire parece mucho mejor que las invenciones de los arquitectos sostenibles actuales."

El artículo *Thermal Confort in a Sustainable House design by Frank Lloyd Wright* trata de demostrar que, aunque la vivienda fuera diseñada siguiendo principios de diseño bioclimáticos, a la hora de medir el confort interior, se obtienen resultados mediocres. Se mide el confort térmico tomando datos de temperatura y humedad relativas a través de unos sensores colocados in-situ. Los datos obtenidos son comparados con la carta climatológica de Victor Olgyay.

Aunque la vivienda está bien orientada y abierta al sur y los muros tengan gran inercia térmica, así como la tierra que rodea parte de la planta baja, al no haber aislamiento y ser los acristalamientos sencillos, el confort interior analizado resulta escaso. La pérdida de calor producida a través de los acristalamientos sencillos y la falta de aislamiento no se compensan con las ganancias por aporte solar. Hay que tener en cuenta que la única calefacción existente durante la toma de datos fue un calefactor eléctrico situado en una de las habitaciones. Es necesario añadir que la chimenea existente tanto en planta baja como en primera con la que Wright contaba para calefactar la vivienda no estuvo en uso durante los meses en los que tuvo lugar la toma de datos. Por otro lado, en el artículo no se especifica si durante los meses calurosos del verano, las ventanas permanecieron abiertas para favorecer la ventilación natural y disminuir las temperaturas interiores, tal y como había sido diseñado por Wright. En enero, las temperaturas interiores medidas son frías y por debajo del nivel de confort. En agosto, elevadas y por encima del nivel de confort. La conclusión de los autores es que, aunque se trate de un edificio que sigue principios de diseño bioclimáticos el resultado de la medición del confort interior dice lo contrario. La planta baja presenta en general menor variación de temperaturas pues se beneficia de la inercia térmica del terreno.

Paralelamente se realiza una simulación por ordenador a través de dos programas, HEED y DOE 2.2/ eQuest, que aportan datos de consumo energético y no de temperaturas. Se comparan datos de consumos energéticos de la situación original de la vivienda con dos supuestos escenarios: sustitución de acristalamientos sencillos por dobles y triples, y colocación de aislamiento en la fachada. Según las simulaciones el comportamiento de la casa mejoraría mucho con aislamiento y sobre todo con la sustitución del acristalamiento sencillo por uno doble y de baja emisividad.

3.5.5. La casa Jacobs I, (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1937-38) (Sturgeon y Porges 1997-98).

La vivienda construida para la familia Jacobs, está considerada como la primera casa *usoniana*. Consta de una sola planta con forma de "L", y como las casas *usonianas* se caracteriza por la simplicidad de sus materiales, el tamaño reducido, aproximadamente 150 m². Fue también pionera en el sistema de calefacción empleando el sistema que Wright denominó *Gravity Heat*, ya citado en anteriores capítulos. Refleja los ideales de las casas *usonianas*, siguiendo principios de diseño bioclimáticos, atendiendo a la orientación de la vivienda, ventilación y calefacción naturales. Una de las alas alberga los dormitorios y permanece en su estado original, salvo por el aislamiento colocado en la cubierta. El ala donde se sitúa el salón, ha sufrido más modificaciones incluyendo aislamiento en el forjado y cubierta, renovación de la instalación de calefacción

existente y sustitución del acristalamiento sencillo por uno doble. El estudio titulado *The Vital Signs Case Study- Building with Frank Lloyd Wright* analiza las dos alas; una prácticamente en su estado original y la otra rehabilitada en 1984 con el fin de mejorar la eficiencia energética desde el punto de vista del consumo energético. Cada ala de la vivienda funcionaba con una caldera independiente. Para analizar el confort térmico se tomaron medidas de temperatura y humedad relativa a través de unos sensores colocados estratégicamente. Para la eficiencia energética, se tomaron medidas de consumo de las dos calderas, así como las facturas emitidas durante el período de toma de datos. De los datos obtenidos los autores tomaron las siguientes conclusiones:

El sistema *Gravity Heat* empleaba tuberías ubicadas bajo la solera, lo cual se ha comprobado que no era la mejor solución. Con la renovación de 1984, las tuberías fueron colocadas embebidas en la solera, lo que queda demostrado con el análisis realizado que se trata de una solución más eficiente. Hay que tener en cuenta que este edificio constituye el primero en que se colocó este sistema.

El aporte solar constituye un factor muy importante para el calentamiento de la vivienda, pero según el artículo, éste se vio en detrimento ya que el propietario cerraba las cortinas para evitar el deterioro causado por el sol de los muebles de la vivienda. Sin embargo, el confort interior del ala del salón se ve mejorado gracias al acristalamiento doble que reduce la pérdida de calor.

Los resultados obtenidos se ven distorsionados debido a la manipulación de las calderas por parte del propietario, para mantener una temperatura fresca en el ala de los dormitorios.

Según los autores, aunque la vivienda fue construida sin aislamiento térmico, pues en aquella época apenas era utilizado, y a pesar del acristalamiento sencillo, el nivel de confort adquirido es substancial. La mejora en eficiencia energética gracias a la renovación con la adición de aislamiento tanto en la cubierta como en la solera, el acristalamiento doble, se consigue con un impacto mínimo en el aspecto original de la vivienda diseñada por Wright.

3.5.6. Taliesin West, (Scottsdale, Arizona, EE. UU, 1937-59) [28]

Energyzing Taliesin West (Spencer, Roth y Prozzillo) es un proyecto que comenzó en el año 2011 con el objetivo de convertir Taliesin West en un edificio de energía cero, *ZEB*, *Zero Energy Building*. En aquel momento, la factura energética ascendía casi a 200.000 \$/año. Como se ha comentado anteriormente, Taliesin West, responde a un diseño condicionado por el entorno, y el clima en el que se encuentra, de forma que el proyecto de *Energyzing Taliesin West* partía de un edificio con unos puntos de partida, a priori, favorables para convertirlo en *ZEB*.

El proyecto cuenta con dos fases:

- Aplicación de medidas de eficiencia energética, tales como aumento de aislamiento en algunos de los edificios, sustitución de los cristales de cubierta por

paneles aislantes translúcidos, sistema de climatización empleando energía geotérmica, iluminación mediante tecnología LED, con el objetivo de reducir la factura en un 50%.

- Instalación de paneles solares fotovoltaicos para suplir la demanda energética del conjunto (Figura 45).

Figura 44. Taliesin West. Vista del exterior del conjunto edificado. Fotografía del autor.

Figura 45. Taliesin West. Imagen de los paneles solares instalados en Taliesin West. Fotografía del proyecto *Energyzing Taliesin West*.

En el mismo artículo, se destacan las características del conjunto en términos bioclimáticos. Como se ha comentado en el capítulo anterior, los edificios fueron contruidos por los propios alumnos de la escuela con el sistema constructivo *masonry desert*, empleando materiales de la zona. Éstos fueron orientados al suroeste, siguiendo la dirección natural de las brisas del desierto, permitiendo la ventilación natural de los mismos. El empleo del tejido textil de color claro producía una luz natural difusa y uniforme mientras que los gruesos muros, repelían el calor durante las horas del día, pero emitiéndolo al interior por la noche.

3.5.7. Arquitectura religiosa; comparación Unity Temple, (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1904-06) y la Capilla Annie Pfeiffer, (Lakeland, Florida, EE. UU, 1938).

En el libro *Frank Lloyd Wright's Sacred Architecture*, Anat Geva (2012) analiza la arquitectura religiosa de Wright, dedicando el último capítulo a estudiar la tecnología constructiva incluyendo el análisis del confort térmico de dos de sus edificios, el Unity Temple en Oak Park, Illinois, y la Capilla Annie Pfeiffer en Florida. Primero realiza un análisis para comprobar si los edificios cumplen con las pautas climáticas para cada una de las zonas, para luego realizar una simulación energética por ordenador para

comprobar cuantitativamente el confort térmico y eficiencia energética de los dos edificios.

El Unity Temple cumple con las pautas principales del clima de Chicago; mantener el calor fuera del edificio y protegerlo de la radiación solar en verano mediante el empleo de una serie de medidas pasivas como son el aprovechamiento de la inercia térmica de los muros de hormigón para refrescar el interior del edificio, y los voladizos que protegen las superficies acristaladas (Figura 46). Wright orienta el edificio de forma que aprovecha las brisas para favorecer la ventilación natural que se produce a través de las puertas y ventanas, todas ellas practicables. Para evitar el sobrecalentamiento, el arquitecto señaló que la iluminación artificial permaneciera apagada durante el día. Las recomendaciones para el invierno de mantener el calor interior, permitir la entrada de la radiación solar y proteger el edificio de los vientos fríos del invierno, se cumplen salvo la última. Centrado en la opción de la ventilación natural, los huecos practicables expuestos a las brisas, infiltran demasiado aire frío en invierno, que, sumado con la falta de aislamiento, hace que el edificio permanezca frío. El arquitecto había diseñado un sistema de calefacción *Gravity Heat* pero sin éxito, por lo que se diseñaron unos conductos de calefacción escondidos en terracota, sin aislar y bajo el suelo, así como en los huecos de las columnas. Sin embargo, este sistema nunca llegó a funcionar y se añadieron radiadores antes de la inauguración del edificio. (Para el interior del edificio ver Figura 47 del interior).

Figura 46. Unity Temple. Vista de la fachada. Fotografía de http://www.bc.edu/bc_org/avp/cas/fnart/fa267/FLW_churches.html (16-02-2015)

Figura 47. Unity Temple. Imagen del interior.
Fotografía de <http://designsbyfranklloydwright.com/image/44546001664> (16-02-2015)

La Capilla Annie Pfeiffer en Florida, responde a unas condiciones climáticas muy diferentes. A priori cumple con las principales pautas para el clima de Florida; refrescar y extraer la humedad del ambiente y proteger del sol de verano al edificio. Wright diseña ventanas y puertas de grandes dimensiones, practicables, para favorecer la ventilación natural. Todos los huecos están protegidos por voladizos perfectamente dimensionados para ello (Figura 48 y Figura 48). El tercer criterio se cumple medianamente, evitar fuentes de humedad, ya que la capilla se encuentra en las proximidades de un lago. Sin embargo, el diseño original planificó una barrera de vegetación compuesta por árboles cítricos que además la protegían aportando sombra al edificio, que posteriormente fueron retirados dejando un espacio de césped, suprimiendo las ventajas que ésta suponía. Para favorecer la luz natural en el interior del edificio, Wright diseñó un gran lucernario (Figura 49), objeto de numerosas críticas por el exceso de luz, por lo que se terminó colocando unas cortinas interiores. El diseño original incluía vegetación que colgaba de la torre y tamizaba la luz sobre el lucernario, pero no se tiene constancia de que se llevara a cabo. La parte más elevada de los muros exteriores está acabada con color claro reflejando la luz natural dentro del interior del edificio. En los años '60 y '70 se llevaron a cabo una serie de reformas para favorecer las condiciones interiores: se introdujo un sistema de HVAC, todas las aperturas se sellaron para disminuir la infiltración de aire, impidiendo, así, la posibilidad de ventilación cruzada como medida de enfriamiento, provocando, además, nuevos problemas relacionados con el aumento de humedad en el interior. Para solucionarlo y alcanzar unas condiciones óptimas de confort, el sistema de aclimatación se encuentra en uso 24/7. La instalación de las máquinas para el sistema de climatización llevó consigo la reducción del número de asientos, lo cual ha hecho disminuir el calor radiado por los ocupantes, que se hace notar en invierno. Mediante la simulación energética que

compara varios escenarios, se demuestra que los efectos térmicos no mejoraron con estas medidas de aire acondicionado y calefacción artificiales.

Figura 48. La Capilla Pfeiffer. Imagen del exterior. Fotografía de <http://www.franklloydwrightatfsc.com/FSC-FLW%20Doc%20-%20Early%20Years.htm>

Figura 49. La Capilla Pfeiffer. Imagen del espacio interior donde se aprecia la importancia de la luz natural. Fotografía de <http://fastestpedestrian.com/2014/05/07/frank-lloyd-wrights-florida-southern-college-campus/sony-dsc-83/>

Finalmente, a través del empleo del programa de simulación energética ENER-WIN, se comprueba que en efecto se trata de dos edificios religiosos diseñados según los condicionantes del clima de forma correcta.

3.5.8. La casa Jacobs II, (Middleton, Wisconsin, EE. UU, 1944-48)

La Jacobs II, fue construida para el matrimonio Jacobs, para los cuales ya había diseñado la casa Jacobs I, considerada la primera casa *usoniana* diseñada por Wright. Al igual que ésta, la vivienda sigue los principios de las casas *usonianas*, si bien la forma arquitectónica es completamente diferente. Para una casa adaptada al frío clima del norte de Estados Unidos, Wright desarrolló un esquema que denominó *Hemiciclo solar*. El edificio tiene una planta en forma de medio círculo. Enterrada por la parte norte, mientras que la fachada opuesta, completamente abierta y acristalada en toda su altura mirando al sur, se abre a un jardín hundido con una concavidad. El talud al norte, realizado con las tierras de la excavación del jardín sur, aporta gran inercia térmica y protege la casa de los vientos dominantes y de las bajas temperaturas del invierno y de las altas en verano, proporcionando un ambiente térmico agradable durante todo el año. La pared acristalada proporciona el aporte solar necesario en invierno; y en verano, gracias al voladizo de cubierta, ésta queda protegida. La solera de hormigón de la planta baja absorbe la radiación solar que penetra en invierno a través del acristalamiento, y gracias a su inercia térmica lo transmite en forma de calor al espacio interior. Embebido en su espesor, Wright al igual que en la casa Jacobs I, planeó el sistema de calefacción *Gravity Heat*. Además, como en muchas de sus viviendas, diseñó una gran chimenea

ubicada en el centro del salón, aportando un confort estable a toda la vivienda. Los muros exteriores están contruidos por una doble fachada de piedra caliza (Figura 50), proveniente de una cantera próxima, en el estado de Wisconsin, atadas entre sí con llaves metálicas, que, gracias a la totalidad de su espesor, aproximadamente 90 centímetros, aporta aislamiento a la vivienda y gran inercia térmica al conjunto del edificio.

Figura 50. Casa Jacobs II. Vista aérea de la vivienda. Fotografía tomada en los años '50. Imagen de la construcción de la vivienda en la que se aprecia la doble fachada de piedra en fase de construcción. imagen durante la construcción del muro doble de piedra (Jacobs 1978).

La estructura de madera de la planta primera cuelga del forjado de cubierta, sin ocupar toda la planta, dejando el espacio acristalado de doble altura permitiendo la circulación de flujo de aire de la planta baja a la primera, calefacción natural. Por otro lado, en verano, la casa se refresca a través de la ventilación natural cruzada y ventilación nocturna, que se ve reforzada por las aperturas de las ventanas de la fachada acristalada y las ventanas de la fachada norte de la planta primera. La vivienda se construyó de acuerdo a la normativa de la época, durante la década de los años cuarenta, con acristalamientos sencillo y un aislamiento escaso en los muros en contacto con el exterior y en cubierta. En los años 80, los acristalamientos sencillos fueron sustituidos por unos dobles, y se instalaron unas persianas por el exterior para ser cerradas durante la noche y evitar así la pérdida de calor. La cubierta fue rehabilitada aprovechando para instalar aislamiento térmico. Sin embargo, según palabras del propio dueño, las persianas se cerraban en raras ocasiones, pues el espacio que se generaba con las persianas cerradas no era tan agradable⁶⁷ y al instalar el doble acristalamiento y el aislamiento de la cubierta, se minimizó en gran medida la pérdida de calor.

Donal Aitken (Aitken 1992-93, 33-37) concluye, tras numerosos estudios sobre el comportamiento energético de la vivienda, que gracias al diseño y al rendimiento solar positivo se alcanza un ahorro energético del 50% aproximadamente.

Igual de positivos son los comentarios que pueden leerse en el libro escrito por los Jacobs (1978) sobre su experiencia con Frank Lloyd Wright, tanto en la primera como en esta segunda vivienda. Donde narran, además de sus vivencias durante la

67 <https://www.youtube.com/watch?v=-MC8DwKIGNc>

construcción y su relación con el arquitecto, la agradable experiencia de haber habitado dos viviendas diseñadas por Wright, en cuanto confort interior se refiere.

3.5.9. Los edificios de la S. C. Johnson Company, (Racine, Wisconsin, EE. UU, 1936-39 y 1950) (Siry 2013)

Este artículo analiza el diseño de Frank Lloyd Wright de los edificios de la S.C. Johnson Company teniendo en cuenta su aspecto medioambiental resaltando los sistemas de calefacción, ventilación y humidificación tanto natural como mecánico.

El edificio administrativo ha sido anteriormente citado en relación a la importancia del uso de la luz natural. Éste, construido entre los años 1936-39, está diseñado de acuerdo a la moda de la época *windowless*, es decir sin ventanas, ya que la tecnología, en lo que a climatización e iluminación se refiere, lo permitía. Sin embargo, Wright, crea un edificio que a priori puede parecer seguir esta idea, pero siendo el interior iluminado de forma natural. El centro del edificio, similar al edificio de oficinas Larkin, es un único espacio de gran altura coronado por un lucernario originado por la superficie que queda entre los capiteles de las columnas estructurales, tan características de este edificio. Estos lucernarios, al igual que los perimetrales que iluminan la entreplanta, están formados por una doble hoja de tubos *pyrex* con cámara entre ellos, que además de proporcionar una luz natural cenital difusa, supone un aislamiento, tanto térmico como acústico. Los muros exteriores, completamente opacos, están contruidos por dos hojas de ladrillo y hormigón con cámara rellena de aislamiento, generando un cerramiento aislante, y sin pérdidas de calor (Figura 51). El sistema de calefacción diseñado para este edificio, *Gravity Heat*, Wright lo había experimentado con anterioridad en la casa Jacobs I en 1937 (Jacobs 1978). Se hicieron numerosas pruebas, antes de poner el sistema definitivo en marcha, llegando a concluir que la temperatura adecuada del suelo debía ser 22°C. Para que el sistema fuera efectivo, se dividió el espacio en seis zonas diferentes, cada una con su termostato independiente y sincronizado con el movimiento del sol. En cuanto al sistema de aire acondicionado, Wright diseña un sistema integrado en la arquitectura del edificio; la red de distribución de aire estaba formada por conductos de albañilería. La salida de aire estaba programada a una temperatura de 27°C; pero si la temperatura exterior sobrepasaba los 34°C, ésta disminuía hasta los 24°C.

Figura 51. Edificio administrativo para la S. C. Johnson Company. Imagen de la rehabilitación del edificio mostrando las fachadas y el hueco para el lucernario perimetral. Fotografías de

[ARTE] Architecture Collection - Episode 07: F.L.Wright - Johnson Wax Administrative Building.

Figura 52. Edificio administrativo para la S. C. Johnson Company. Imagen del lucernario perimetral visto desde el interior. Fotografías de [ARTE] Architecture Collection - Episode 07: F.L.Wright - Johnson Wax Administrative Building.

Años más tarde, Herbert Johnson quiso construir otro edificio que albergara los laboratorios de investigación de los productos de la compañía. Sin embargo, la fuerza del edificio administrativo hacía que este nuevo proyecto fuera difícil. Según Wright, los dos edificios debían pertenecer a un todo, y estar en perfecta armonía. En 1947 se presentan los dibujos definitivos; un edificio en altura (Figura 53). Las plantas de la torre se encuentran en voladizo, unidas a un núcleo central estructural del cual cuelgan. Con 156'-0'' (47.55 metros) de altura, llegó a constituir el edificio más alto construido sin cimentaciones bajo los muros perimetrales, produciendo un curioso efecto visual; pues la base de la torre no se aprecia desde la distancia y ésta parece estar flotando en el aire. El cerramiento está compuesto por un muro opaco de ladrillo y un muro formado por tubos *pyrex*, como en el caso de los lucernarios del edificio de oficinas, pero con una capa interior de vidrio (Figura 54). La distribución de las instalaciones se produce verticalmente a través del tronco central del edificio; suministro y extracción de aire frío y caliente, fontanería, electricidad y suministro de diferentes tipos de gases y líquidos para los laboratorios. Dicha estructura en altura permite una distribución más eficaz de las instalaciones para el laboratorio que en planta horizontal, creando una analogía con la distribución de un árbol.

Sin embargo, ambos edificios presentaron algunos problemas desde el punto de vista medioambiental: la junta de sellado de los tubos de *pyrex* de neopreno, terminó por agrietarse, lo cual produjo la filtración de agua y el aumento de pérdidas de calor, haciendo la fachada poco eficiente energéticamente; en invierno, la entrada de agua y aire frío, mientras que en verano la entrada de aire caliente, que ascendía a través del hueco de las entreplantas, hacía la planta superior muy calurosa. Además, el aumento de personal y los equipos de trabajo, supusieron un aumento adicional de la carga de refrigeración. La fachada de la torre cuenta con una gran superficie acristalada (Figura 54) que origina alrededor de la mitad de la carga de refrigeración; igualmente, la pérdida de calor en invierno es elevada, aunque se ve compensada por las ganancias por radiación solar. Igualmente, esta solución constructiva ocasionaba demasiada claridad, y los trabajadores tuvieron que llevar gafas de sol hasta que se instalaron las cortinas, meses después de su puesta en marcha.

Figura 53. Edificio administrativo y Torre de laboratorios de la S. C. Johnson Company. Vista aérea. Fotografía de Google earth (15-02-2015).

Figura 54. Torre de los laboratorios de la S. C. Johnson Company. Imagen de la doble altura de los laboratorios en la torre de investigación. Fotografía de Miller, Michelle. "AD Classics: SC Johnson Wax Research Tower / Frank Lloyd Wright" 08 Sep 2014. ArchDaily. Accessed 16 Feb 2015. <<http://www.archdaily.com/?p=544911>>

En 1981, debido a la falta de cumplimiento de la normativa contra incendio, sumado a otros factores, como la necesidad de mayor espacio para los laboratorios, provocaron la decisión del cierre del edificio, siendo trasladada la actividad de investigación a otro edificio cercano. En el año 2013, se llevó a cabo una rehabilitación tanto del interior como de la fachada del edificio y actualmente sirve como espacio de exposición.

3.5.10. La casa Boulter, (Cincinnati, Ohio, EE. UU, 1954)

El propietario actual de la casa Boulter, Chuck Lohre, con la intención de obtener la certificación LEED platino, realiza un análisis de la vivienda para hacer una futura rehabilitación que le permita alcanzarla. En el artículo, muestra cómo a través de termografías (Figura 56) se puede obtener un buen diagnóstico en relación a los puntos débiles de la vivienda. Las actuaciones para realizar una mejora en eficiencia energética se han ido llevando a cabo poco a poco. Entre ellas se encuentra el sellado de las juntas de los acristalamientos en esquina, el sellado de los encuentros entre diferentes materiales, en definitiva, sellar los puntos débiles identificados a través de las termografías.

Figura 55. Casa Boulter. Imagen del exterior de la vivienda en la que se señalan los puntos débiles.

Figura 56. Casa Boulter. Termografía del exterior de la vivienda, señalando los puntos débiles.

Figura 57. Casa Boulter. Imagen de la instalación del aislamiento en el interior de los muros. Fotografías del *Dual-View Imaging Report* de la Boulter House (Homes +, Inc. 2007)

Otra de las soluciones que se propone es insuflar aislamiento térmico en el interior de los muros norte, este y oeste, compuestos de los bloques de hormigón (Figura 57). Según narra el propietario, esta medida se sintió como si se le hubiera puesto una chaqueta a la vivienda, de lo que se deduce que fue una medida eficaz.

En la actualidad, el propietario afirma que probablemente la vivienda nunca llegue a alcanzar la certificación planteada, pero que por el camino se han aprendido muchas lecciones. Una de las principales cuestiones que se plantean, es la necesidad o no de sellar todos los puntos por donde se pierde calor, convirtiendo entonces la vivienda completamente hermética, sin conexión con el exterior, en definitiva, sin respirar. Esto podría provocar la aparición de humedades debido a condensaciones superficiales que podrían perjudicar la calidad del aire interior y el estado de los materiales. En este caso, se pregunta si sería necesaria una ventilación mecánica como consecuencia de esta mejora, lo cual supondría un consumo energético extra.

3.5.11. *Broadacre City* (no construida, 1932- 59)

Inmaculada Jiménez, en su artículo sobre Wright como precursor de la arquitectura sostenible (Jiménez 2011), resalta la ideología de Wright en relación a una vuelta hacia un urbanismo más cercano a la naturaleza, frente al ambiente poco saludable que se había generado en las ciudades como consecuencia de la Revolución Industrial. Sin embargo, en numerosas ocasiones ha sido criticado por la dispersión urbana que han generado sus ideas, siendo la base del urbanismo suburbano desarrollado en la segunda mitad del S. XX sobre todo en Estados Unidos. Si bien es cierto que puede encontrarse un paralelismo en la morfología urbanística, sin embargo, la idea que promulgaba Wright de la relación con la naturaleza, la vuelta a la agricultura, no se ha implantado (Ela 2013). En este sentido, puede vislumbrarse una cierta similitud entre el acercamiento a la naturaleza y a la agricultura que promueven la creación de los huertos urbanos tan actual y las ideas que proponía Wright, resaltando la diferencia de escala.

Figura 58. Imagen de la maqueta de Broadacre City 12'-0" x 12'-0" (3.65 x 3.65 m) presentada en la *Exposition Industrial Arts Exposition* en el fórum del Rockefeller Center en 1935.

(<http://www.rtve.es/fotogalerias/frank-lloyd-wright-moma/129075/broadacre-city-proyecto-1934-35-maqueta-madera-pintada-152-152-3861-3861-cm/1>).

La exposición titulada *Frank Lloyd Wright and the City: Density vs. Dispersal*,⁶⁸ trata de mostrar la evolución del urbanismo en la carrera de Wright, siendo protagonistas la maqueta de *Broadacre City* (Figura 58) y los dibujos de edificios en altura. A través de la exposición se percibe la evolución del diseño de rascacielos, pasando de los edificios de 18 alturas como la Torre Price construida en Oklahoma en 1952, hasta el *The Illinois en Chicago* de una milla de altura (1.609 m) y más de 500 pisos, sin edificar. De esta forma se puede entender una evolución en su planeamiento tanto en horizontal como en vertical con un denominador común, la relación de la arquitectura con la naturaleza.

3.6. Satisfacción de los usuarios

A través de los testimonios de los propios usuarios y propietarios de sus edificios, queda demostrada la calidad estética y medioambiental de su arquitectura.

A continuación, se presentan los testimonios de las familias Millards, Jacobs y Johnsons, junto con una tabla que recapitula las familias que encargaron más de un edificio al arquitecto americano.

Como el mismo Wright escribía en su *Autobiografía*:

*"I was proud now to have a client survive the first house and ask me to build a second. Out of one hundred and seventy-two buildings this made only the eleventh time it had happened to me"*⁶⁹ (Wright 1943, 241).

- Los Millards

La frase anterior hace referencia a los Millards. La familia Millards había residido en una pequeña vivienda de madera que Wright había diseñado para ellos en Highland Park cerca de Chicago, siguiendo las características de la *Prairie School*. En 1923, quince años después solicitan de nuevo a Wright, para que diseñara su nueva vivienda en Pasadena, California. El resultado fue La Miniatura, una de las viviendas construida con el sistema constructivo de *Textile Blocks*. Según narra en su autobiografía, tanto el diseño como la construcción sufrieron grandes obstáculos, sin embargo, Alice Millard confiaba en el arquitecto, lo cual deja patente a través de una cita de la Sra. Millard que el arquitecto escribe en su libro:

68 Traducción: "Frank Lloyd Wright y la Ciudad: Densidad frente a Dispersión", Exposición en el MOMA Nueva York, 1 febrero- 1 junio, 2014.

69 Traducción: "Estaba orgulloso de tener un cliente que sobreviviera la primera casa y me pidiera que construyera la segunda. De los ciento setenta y dos edificios construidos, esta es sólo la undécima vez que me ha ocurrido"

"We are going to finish that building if it takes every cent I've got in the world or can get to do it. I see that it's going to be beautiful- ..."70
(Wright 1943, 247)

Lo que demuestra que la experiencia de haber habitado anteriormente en una vivienda diseñada por Wright había sido positiva.

- Los Jacobs

La primera vivienda que Wright diseña para la familia Jacobs, más conocida como la Casa Jacobs I, fue construida en 1937, Madison, Wisconsin (Estados Unidos). Posteriormente, los Jacobs, con el deseo de trasladarse a un entorno más natural, movidos por la voluntad de mostrar a sus hijos las ventajas y valores de residir en el campo, vuelven a recurrir a Wright para el diseño de su nueva vivienda, dando como resultado la Hemisiciclo Solar o la casa Jacobs II, construida entre 1944 y 1948. Tanto la primera como la segunda fueron construidas con un bajo presupuesto, y los propietarios tuvieron un papel fundamental tanto en el diseño como en la construcción. Los Jacobs narran su experiencia con el arquitecto en el libro *Building with Frank Lloyd Wright. An Illustrated Memoir* (Jacobs 1978), donde describen la fase de proyecto y la construcción de las dos viviendas, así como la experiencia de habitar en ellas. Al final del libro se encuentra la siguiente frase, dejando constancia de la experiencia vital enriquecedora de su relación con el arquitecto:

"And if we could break more architectural barriers with Frank Lloyd Wright, we would do it again."71 (Jacobs 1978)

La propietaria actual, Betty Moore, afirma que les llevó un año el acostumbrarse a la completa experiencia del diseño de la vivienda, así como entender la relación intrínseca con la naturaleza, el movimiento del sol en las diferentes estaciones del año, añadiendo que la fascinación por habitarla nunca se desvanece (Moore 2008).

- Los Johnsons

En 1937 Wright diseña la casa Wingspread para Herbert F. Johnson en Wind Point, Wisconsin que, según palabras del propio arquitecto, fue la vivienda más cara construida hasta la fecha. Considerada una de las últimas casas de la *Prairie School*, se caracteriza por su fuerte relación con el entorno y el empleo de materiales en su estado original sin acabados superfluos, como son la piedra caliza, el ladrillo y la madera de ciprés.

Paralelamente, Wright estaba diseñando el edificio administrativo de la S. C. Johnson Company, 1936-39, que más tarde culmina con la torre de investigación y laboratorios,

⁷⁰ Traducción: *"Vamos a terminar ese edificio, aunque me cueste el último céntimo que tengo. Veo que va a ser bonito-..."*

⁷¹ Traducción: *"Y si pudiéramos romper más barreras arquitectónicas con Frank Lloyd Wright, lo haríamos otra vez"*

1943-50, en Racine, Wisconsin. Como se ha comentado anteriormente representan un claro ejemplo de gestión medioambiental.

A continuación, se presenta una Tabla 7 con las familias que encargaron más de un edificio al arquitecto americano.

Nombre del propietario	n° F.L.W Companion	Fecha (proyecto)	Nombre	Situación	Clasificación del edificio
Los Lamp	S. 021	1893	Robert M. Lamp Cottage	Lake Mendota, Wisconsin, EE. UU	Prairie-School
	S. 097	1903	Robert M. Lamp Residence	Madison, Wisconsin, EE. UU	Prairie-School
Los Furbeck	S. 043	1897	George Furbeck Residence	Oak Park, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 044	1897	Rollin Furbeck Residence	Oak Park, Illinois, EE. UU	Prairie-School
Cora D. and Robert D. Clarke	S. 070	1902	Construida para la familia Little	Peoria, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 152	1909	Robert D. Clarke ampliación del establo de la vivienda	Peoria, Illinois, EE. UU	Prairie-School
Los Littles	S. 070	1902	Francis W. y Mary Little (Little Clarke) Residence	Peoria, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 173	1912	Francis W. Little Residence II	Deephaven, Minnesota, EE. UU	Prairie-School
Arthur Heurtley	S. 074	1902	Arthur y Grace Heurtley Residence	Oak Park, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 075	1902	Arthur Heurtley Reforma de vivienda	Marquette Island, Michigan, EE. UU	Prairie-School
Thomas H. and L. Robeson Gale	S. 016	1892	Thomas H. Gale Residence	Oak Park, Illinois, EE. UU	Pre-Prairie
	S. 088	1909	Mrs. Thomas H. (Laura R.) Gale Cottage	Whitehall, Michigan, EE. UU	Prairie-School
Los Millard	S. 126	1906	George Madison Millard Residence	Highland Park, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 214	1923	Mrs. Alice (George Madison) Lillard Residence, La Miniatura	Pasadena, California, EE. UU	Textile-Block
Stephan M. B. Hunt	S. 138	1907	Stephen M. B. Hunt Residence I	LaGrange, Illinois, EE. UU	Prairie-School
	S. 203.4	1917	Stephen M. B. Hunt Residence II	Oshkosh, Wisconsin, EE. UU	American System Built-Homes
Herbert F. Johnson	S. 239	1937	Herbert F. Johnson Residence, Wingspread	Wind Point, Wisconsin, EE. UU	Usonian-Prairie-School
	S. 237	1936 y 1951	S. C. Johnson & Son, Edificio Administrativo y la Torre de Investigación	Racine, Wisconsin, EE. UU	
Los Kaufmann	S. 230	1935	Lilliane S. y Edgar J. Kaufmann Sr. Residence, Fallingwater	Mil Run, Pensilvania, EE. UU	Usoniana
	S. 233	1937	Edgar J. Kaufmann Sr. Oficina		
Los Jacobs	S. 234	1936	Herbert y Katherine Jacobs First Residence	Madison, Wisconsin, EE. UU	Usoniana
	S. 283	1944	Herbert y Katherine Jacobs	Middleton,	Usoniana

			Second Residence	Wisconsin, EE. UU	
Familia Adelman	S. 308	1948	Albert (Ollie y Edie) Adelman Residence	Fox Point, Wisconsin, EE. UU	Usonian
	S. 344	1951	Benjamin Adelman Residence	Phoenix, Arizona, EE. UU	Usonian-Automatic

Tabla 7. Edificios diseñados por Wright que fueron encargados por la misma familia.

3.7. Continuidad de su filosofía a través de sus discípulos.

A través de su extensa obra, Frank Lloyd Wright ha generado una fuerte influencia tanto en arquitectos como en el resto de la población. Pero es, sobre todo, su escuela de arquitectura la que ha servido de medio para la difusión y continuidad de su filosofía a través del trabajo de sus discípulos.

La escuela de Arquitectura Frank Lloyd Wright, fue fundada en 1932 por el arquitecto y su tercera esposa, Olgivanna Lloyd Wright. La filosofía de la escuela estaría fundada en la idea del *Learning by Doing*⁷² (Sheldon 2014).

Los estudiantes o "aprendices" más bien, estarían encargados de hacer todos los trabajos, dentro de la escuela, desde plantar y recolectar los alimentos en el huerto existente, hasta cocinar, incluyendo la limpieza del centro. Todos los alumnos participaban en todas las tareas.

Los aprendices hacen también trabajos de conservación, mantenimiento y construcción de la escuela. Extraían la piedra y el árido para hacer mortero, cortaban los árboles para obtener la madera. A lo largo de su estancia en la escuela, realizaban todo tipo de trabajos, haciendo la escuela autosuficiente y poder sobrevivir con un presupuesto muy reducido.

Muchos de los proyectos de Wright fueron generados en la escuela y gracias al trabajo de los aprendices, como, por ejemplo, los edificios de la S. C. Johnson Company, en Racine, Wisconsin; o la Casa de la Cascada en Bear Run, Pensilvania. La escuela atrajo numerosas personalidades de la arquitectura tanto a nivel nacional como internacional.

En el invierno de 1935, Frank y su esposa, trasladaron la actividad de la escuela a Arizona y en 1937 compraron un terreno en Scottsdale donde los estudiantes comentaron la construcción de Taliesin West, que albergaría la escuela de invierno de Frank Lloyd Wright.

En la actualidad, los elementos básicos de la vida, el aprendizaje y el trabajo en Taliesin, siguen ligados a las ideas de los Wright. Los estudiantes continúan aprendiendo a través de la propia experiencia. La naturaleza, el paisaje y los espacios abiertos de la escuela, crean un perfecto ambiente para el estudio y el entendimiento de la relación entre naturaleza y arquitectura.

⁷² Ver nota 43. Traducción: "Aprender haciendo"

<http://taliesin.edu/history.html> (18-05-2014)

Los testimonios de antiguos alumnos describen la estancia y estudio en la escuela de Frank Lloyd Wright como una experiencia única, y enriquecedora. Uno de los ejercicios que debían realizar era el diseño y la construcción de un refugio en las proximidades a la escuela, en el desierto, donde además los estudiantes debían habitar durante un determinado tiempo. Dicha experiencia les permitía un contacto con la naturaleza, la tierra, el sol, el viento; y la familiarización con los materiales de construcción, lo cual todos coinciden en que se trata de una experiencia única.

Numerosas figuras de la arquitectura de reconocimiento mundial en el campo de la Arquitectura ecológica, sostenible y/o bioclimática, han pasado por Taliesin, continuando las teorías de Wright a través de su carrera profesional y su forma de vida.

- Richard Joseph Neutra (Austria 1892- Estados Unidos 1970)

Richard Neutra estudió en la Universidad de Tecnología de Viena bajo la enseñanza de Adolf Loos. En 1923, emigró a Estados Unidos donde trabajó durante un breve período para Frank Lloyd Wright. Según Reyner Banham, su obra se caracteriza por la relación que pone de manifiesto entre arquitectura y naturaleza, originando viviendas con grandes superficies acristaladas y abiertas al paisaje, dando especial interés a la iluminación natural de los espacios.

- Paolo Soleri (Italia 1919- Estado Unidos 2013)

Soleri estudió arquitectura en la Universidad Politécnica de Turín y en 1946 visitó Estados Unidos, donde permaneció durante un año y medio trabajando con Frank Lloyd Wright en su escuela Taliesin. En 1956 se asentó en Scottsdale, Arizona, junto su familia. En 1970 comenzó la construcción de Arcosanti en las proximidades de Phoenix; un asentamiento experimental para cinco mil habitantes, donde pondría de manifiesto sus teorías sobre arquitectura y urbanismo, sirviendo de un modelo demostrador de su teoría de *Arcología*, concepto que él acuñó para referirse a la Arquitectura en coherencia con la Ecología. *Arcología* era concebido como una ciudad de alta densidad, tratando de disminuir el uso de energía, conservar el agua y reducir los residuos, maximizar la eficiencia de las instalaciones, y promover el empleo de materiales naturales con el objetivo principal de reducir residuos y contaminación ambiental permitiendo además la interacción con el medio natural en que se encuentran.

Ya en 1970, Soleri, promovía con su teoría de *Arcologia* un urbanismo sostenible, muy similar a lo que en la actualidad se está tratando de poner en práctica.

No está clara la influencia de Wright sobre la teoría de *Arcología*. Pero lo que sí es cierto es que Soleri trabajó junto a Wright, y que ambos compartían un claro respeto por la Naturaleza.

- Lloyd Wright (Estados Unidos 1890-1978)

Frank Lloyd Wright Jr. hijo mayor del arquitecto, dedicó su vida, igualmente a la arquitectura. Con una especialización en arquitectura y paisaje colaboró en numerosos proyectos con su padre, especialmente en los desarrollados en Los Ángeles durante la década de los años 20 con el sistema constructivo *Textile Block*, que él mismo emplearía para sus propios proyectos como arquitecto independiente. De su padre aprendió a amar la naturaleza, que al igual que en los proyectos del genio, está siempre presente en su obra.

- Eric Lloyd Wright (Estados Unidos 1929-)

Nieto de Frank Lloyd Wright y arquitecto americano por la Universidad de California Los Ángeles, trabajó junto a su abuelo de 1948 a 1956. En su obra puede verse una clara influencia de la arquitectura orgánica de Wright. A través del seminario⁷³ que ha impartido durante varios años en la Universidad de Los Ángeles (UCLA), California, EE. UU, enseña y difunde la filosofía y manera de construir de su abuelo, siempre en armonía y respeto con la naturaleza.

3.8. Justificación del análisis de la Arquitectura de Frank Lloyd Wright como referencia de Arquitectura Bioclimática.

Numerosas veces ha sido criticada por su falta de interés en el aislamiento, en concepción bioclimática, sostenible, verde, o incluso ha sido poco estudiado en este sentido, pero con lo anteriormente expuesto queda demostrada la gran preocupación que tenía Wright frente a estos temas, pero no de forma independiente, si no de forma integral como un punto más del diseño arquitectónico, que no muchos han sabido ver.

*"Il n'est pas toujours facile d'identifier les vrais héritiers de Wright; l'aspect extérieur de leurs réalisations ne trahit parfois rien du savoir-faire que a permis leur conception, et même l'intérieur ne révèle souvent presque rien sauf aux yeux des experts capables d'apprécier le comportement environnemental d'une maison dans son ensemble."*⁷⁴ (Banham [1969] 1984).

Frank Lloyd Wright describe la arquitectura vernácula de la siguiente manera:

*"Folk building growing in response to actual needs, fitted into environment by people who knew no better than to fit them with native feeling".*⁷⁵ (Oliver 2003)

⁷³ Seminario *Organic Architecture*, impartido en UCLA, noviembre 2014

⁷⁴ Ver nota 58.

⁷⁵ Traducción: "La construcción popular crece como respuesta a necesidades actuales, insertadas en el ambiente por gente que no conoce sabe hacerlo de otra manera que con un sentimiento natural"

sugiriendo que se trata de una forma primitiva de diseño carente de inteligencia, pero, sin embargo,

*"for us better worth study than all the highly self-conscious academic attempts at the beautiful throughout Europe"*⁷⁶(Oliver 2003)

Pero a pesar de sus palabras, numerosos estudios afirman que la Arquitectura Orgánica de Frank Lloyd Wright está inspirada en la Arquitectura vernácula americana.

*"Many of the virtues of Frank Lloyd Wright's domestic designs have always been immediately apparent to all who study architecture. But to do any kind of justice to their environmental qualities, they must be seen against the background of the domestic work of Wright's contemporaries, both in America and Europe, and of the American domestic vernacular on which both Wright and his American contemporaries were able to build."*⁷⁷ (Banham 1969, 93)

Frente a la problemática de la vivienda en Estados Unidos durante la época de entre guerras, Wright declara que:

*"... the American 'small houses' problem is still a pressing, needy, hungry, confused issue...". "I do not believe the needed house come from current education, ..., It is only super-common-sense that can take us the road to the better thing in building"*⁷⁸ (Wright 1954).

Se puede encontrar cierto paralelismo entre las palabras de Wright sobre el *super-common-sense* y la *sensatez* de la que habla Justo García Navarro (2010) en relación a la sostenibilidad como solución en el sector de la construcción.

⁷⁶ Traducción: "para nosotros mejor estudiar (la construcción popular) que todos esos intentos cohibidos sobre la belleza a través de Europa"

⁷⁷ Traducción: "Muchas de las virtudes de los diseños domésticos de Frank Lloyd Wright han sido siempre aparentes para alguien que estudia arquitectura. Pero para hacer justicia a las cualidades medioambientales, deben verse dentro del contexto de la obra de los contemporáneos de Wright tanto en América como en Europa, y dentro de la (obra) doméstica vernácula americana sobre la que Wright y sus contemporáneos han sido capaces de construir."

⁷⁸ Traducción: "... el problema de la vivienda mínima es todavía un problema de presión, necesario y confuso...." "No creo que casa buscada venga de la educación actual, ..., Es sólo el super- sentido común que puede llevarnos a una mejora en la construcción"

CAPITULO III. La vivienda en la obra de Frank Lloyd Wright. La vivienda *usoniana*

En este capítulo se realiza un análisis constructivo de la obra de Frank Lloyd Wright, tomando como referencia la tipología de vivienda unifamiliar aislada, destacando las características medioambientales de cada etapa.

Como se muestra a través del análisis, Wright consideró una necesidad abordar la arquitectura residencial americana. Fue una preocupación constante a lo largo de su extensa carrera cuya evolución culmina con la vivienda *usoniana*. La evolución ideológica de la vivienda lleva intrínseca una evolución constructiva y medioambiental lógicas basándose en la naturaleza e implementando de forma inteligente los avances tecnológicos de la época.

Este estudio permite identificar las características medioambientales empleadas por el arquitecto en el diseño y construcción de viviendas con el objetivo de seleccionar un modelo sobre el que realizar la fase de experimentación propiamente dicha.

La obra residencial del arquitecto se ha clasificado en tres períodos:

1. *Pre-usoniana* (1887-1917). En este primer período se incluyen tanto su etapa ecléctica en Adler & Sullivan, como sus primeros diseños *Prairie-school* y el primer experimento de construcción industrializada *American System-Built Homes*.
2. Período de transición (1915-20) que coincide con el encargo del Hotel Imperial (Tokyo, Japón, 1915-19) y culmina con su traslado a Los Ángeles.
3. Vivienda *usoniana* (1923-1959). Marcada por la construcción de la vivienda para Alice (George Madison) Millard, La Miniatura, (Pasadena, California, EE. UU, 1923) considerada por el propio Wright al final de su carrera como la primera casa *usoniana*.

La evolución de su obra residencial es continua, y la vivienda *usoniana* es fruto y consecuencia de sus experiencias a través de la *Prairie School*. Sin embargo, se ha querido diferenciar estos dos períodos, *pre-usoniana* y *usoniana*, como un antes y un después.

1. Clasificación constructiva de la vivienda unifamiliar en la obra de Frank Lloyd Wright

1.1. Pre-*usoniana* (1887-1917)

1.1.1. *Pre-Prairie* (1887-1900)

En 1887 Frank Lloyd Wright se traslada a Chicago donde comienza a trabajar en el estudio de Adler & Sullivan. Durante esta etapa el prestigioso estudio contaba con proyectos de gran envergadura como el Gran Auditorio (Chicago, Illinois, EE. UU, 1889), o el Wainwright Building (St. Louis, EE. UU, 1890-91) considerado como el primer rascacielos. Los proyectos residenciales serían abordados por Wright incluyendo la propia vivienda para Louis Sullivan (Ocean Springs, Mississippi, EE. UU, 1890).

Wright en su libro *The Natural House* critica la vivienda americana contemporánea de su época. Carente de identidad propia ni conexión con el lugar o la naturaleza, respondía a una arquitectura tradicional y anclada a la moda de los eclecticismos, estilo Tudor o Queen Anne, según el gusto del cliente. Según el arquitecto:

*“To take any one of these so-called “homes” away would have improved the landscape and helped to clear the atmosphere”*⁷⁹(Wright 1954, 14)

Wright consideraba estas viviendas como cajas, en que los materiales eran empleados indistintamente, sin justificación, independientemente de su naturaleza, con una serie de huecos que permitían la entrada de aire y de luz en el interior,

*“...with an especially ugly hole to go in and come out of”*⁸⁰ (Wright 1954, 16)

Frente al eclecticismo y la tradición europea Wright buscaba una arquitectura que expresara la moderna nueva forma de vida americana, tendiendo hacia una simplificación, *simplicity*.

Wright había pasado parte de su infancia en el campo de Wisconsin. Allí aprendió a amar la naturaleza:

*“I loved the prairie by instinct as itself a great simplicity; the trees, flowers, and sky were thrilling by contrast”*⁸¹ (Wright 1954, 15)

⁷⁹ Traducción: “La eliminación uno de estos llamados “hogares” habría mejorado el paisaje y habría ayudado a clarificar la atmósfera.”

⁸⁰ Traducción: “...con un hueco especialmente feo para entrar y salir.”

⁸¹ Traducción: “Amaba la pradera por instinto debido a su simplicidad; los árboles, las flores, el cielo eran emocionantes por su contraste.”

Tomaba la amplitud espacial como una necesidad del hombre moderno. Siendo el hombre el objetivo de la arquitectura, la proporción de la vivienda debía acomodarse a la escala humana.

*“...to comfort the human being”*⁸² (Wright 1954)

Hasta 1893, Wright permaneció en el estudio de Adler & Sullivan. Los encargos de esta primera etapa provenían de hombres de negocios del estado de Illinois, localizados en la ciudad de Chicago o en las afueras. Generalmente se trata de viviendas de grandes dimensiones, con materiales nobles, como la madera, ladrillo y mampostería de piedra. A partir de 1893, año en que comienza su práctica de forma independiente, destaca una mayor libertad arquitectónica y empieza a plasmar sus ideas de la nueva vivienda americana.

Características principales

Se trata de viviendas de grandes dimensiones con dos plantas: la planta baja para usos vivideros y la planta primera destinada a los dormitorios. Normalmente poseen un sótano, a modo de almacén de leña para la chimenea o despensa, por lo que la planta baja se presenta por encima del nivel del terreno. La vivienda estaba coronada por un ático-desván bajo las grandes cubiertas inclinadas.

Las primeras viviendas cuentan con plantas rectangulares o cuadradas, compartimentadas; cada estancia estaba limitada por las particiones interiores. Siguiendo la tendencia de la época, muchas de las viviendas siguen ancladas a los eclecticismos; estilo Queen Anne, Victoriano, Tudor... como la residencia para Nathan G. Moore (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1895). Los materiales empleados son generalmente madera, ladrillo y mampostería de piedra, siguiendo los sistemas constructivos tradicionales de la época.

El estado de Illinois posee un clima continental con inviernos muy fríos y veranos muy cálidos. Todas las viviendas cuentan con una chimenea ubicada en el salón, en la planta baja, y generalmente otra en la planta primera en el dormitorio principal. Algunas de las viviendas, posee un sistema de calefacción propio con radiadores de agua caliente, como la vivienda para George Furbeck (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1897). La compartimentación de la vivienda favorecía en cierto modo la conservación del calor dentro de las distintas estancias.

Las viviendas de esta época no cuentan con un sistema de climatización propio, considerando que se trata de finales del siglo XIX. Además, la compartimentación en planta no favorece la ventilación natural de los espacios interiores. La documentación consultada muestra que algunas de las viviendas contaban con una cubierta ventilada para evitar el sobrecalentamiento del ático en verano, como es el caso de la vivienda Chauncey L. Williams (River Forest, Illinois, EE. UU, 1895). La documentación

⁸² Traducción: “...para confortar al ser humano.”

consultada no proporciona detalle suficiente para saber en qué medida Wright aplicó esta estrategia en otras viviendas de esta época. Sin embargo, como se expone más adelante, Wright, empleó la cubierta ventilada en numerosos proyectos para combatir las altas temperaturas estivales.

En cuanto a la orientación, se perciben una preocupación por una buena orientación de las estancias de la vivienda. Generalmente, las zonas vivideras, como el salón, están orientados al sur conectados al exterior a través de un gran porche cubierto. La cocina baños y escaleras suelen situarse en la fachada norte. Las viviendas en que parece que la orientación no ha sido una variable a tener en cuenta se desconoce si ha primado, en este caso, las vistas o simplemente las condiciones urbanísticas de la situación de la parcela no lo permiten.

Los porches cubiertos son la continuidad de la vivienda hacia el exterior. Generalmente con una cubierta inclinada de gran pendiente, como la vivienda, que ira evolucionando en una pendiente más ligera. Las viviendas de los últimos años de esta época ya presentan lo que va a evolucionar en los famosos voladizos de Wright.

Vivienda representativa

En cuanto a características medioambientales se puede destacar la vivienda William Herman Winslow (River Forest, Illinois, 1884). Según narra el arquitecto, éste fue su primer encargo como arquitecto independiente. Winslow también compartía con el arquitecto la necesidad de una nueva arquitectura para la moderna vida americana, y frente al eclecticismo de la época Wright diseñó una vivienda más moderna, con una gran cubierta que comienza a volar sobre las ventanas de la planta primera.

*“I was not the only one then sick of hypocrisy and hungry for reality. Winslow was something of an artist himself, sick of it all.”*⁸³ (Wright 1954, 18)

La vivienda presenta las características comunes de esta etapa, sin embargo, se trata de un proyecto innovador gracias a la predisposición del cliente. En la planta baja, que se muestra a continuación, comienza a apreciarse la fluidez espacial (Figura 59). La gran chimenea se encuentra en el centro de la vivienda, abriéndose al comedor y al área de recepción, conectada al salón y a la biblioteca. El salón y el porche cubierto con orientación sur. La cocina, las escaleras y el garaje cubierto con orientación norte (Storrer [1993] 2006, 23).

La fachada a la vía pública presenta un diseño clásico y simétrico, mientras que la fachada trasera deja entrever las ideas de la *Prairie School* (Figura 60 y Figura 61).

La casa Winslow supuso una innovación para la época hasta el punto que llegó a suscitar las burlas de los vecinos.

⁸³ Traducción: “No era el único harto de la hipocresía y hambriento de la realidad. Winslow era una especie de artista y también estaba harto de todo aquello.”

Figura 59. Casa Winslow. Planta baja (Storrer [1993] 2006, 23).

Figura 60. Casa Winslow. Imagen de la fachada a la vía pública.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_\(River_Forest,_Illinois\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_(River_Forest,_Illinois)).

Figura 61. Casa Winslow. Imágenes de la fachada trasera.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_\(River_Forest,_Illinois\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_(River_Forest,_Illinois)).

1.1.2. *Prairie School* (1900-15)

Durante esta etapa, Wright continua con la evolución de sus ideas.

Con el fin de lograr esa amplitud espacial, extendió el espacio de forma horizontal eliminando las particiones interiores en planta, dando lugar a un espacio continuo y fluido.

El sótano, que ocupaba toda la huella de la planta baja, queda reducido a lo mínimo necesario, local de instalaciones y almacén, puesto que Wright consideraba este espacio mal ventilado, y mal iluminado sin un uso específico. De esta forma, la planta baja se acerca al terreno.

Elimina también el ático “*complicated attic*”⁸⁴. Los sirvientes, que residían en la vivienda, los relocaliza en el mismo nivel que la familia próximos a la cocina.

*“They liked this compulsion, though the housewife worried”*⁸⁵ (Wright 1954)

La eliminación del ático conlleva la simplificación de la cubierta y una reducción de la pendiente, puesto que el espacio bajo cubierta desaparece. Esta decisión evoluciona hacia la cubierta plana que será una constante en su arquitectura posterior.

Con el fin de aproximar la vivienda al usuario, reduce la altura de la vivienda en función de la escala humana, tomando su altura como modelo. Wright medía 5'-8 ½'', y como él mismo escribe:

*“It has been said that were I three inches taller than 5'-8 ½'' all my houses would have been quite different in proportion. Probably.”*⁸⁶
(Wright 1954, 38)

Wright establece tres conceptos que caracterizan su arquitectura y que aplicará en sus edificios:

Simplicity. Simplicidad, reducción de todo aquello que es superfluo, incluida la ornamentación. La evolución de su obra arquitectónica muestra esta tendencia hacia la simplicidad constructiva y ornamental consecuencia del resultado formal de su obra.

Plasticity – Continuity: el edificio, o la vivienda en concreto, diseñada como un elemento global de la arquitectura. Continuidad espacial en la que todos los elementos están relacionados. La nueva vivienda que Wright promulga se caracteriza por la

⁸⁴ Traducción: “*el complicado ático*”

⁸⁵ Traducción: “*A ellos les gustó este cambio, sin embargo, el ama de casa lo tomó con inquietud.*”

⁸⁶ Traducción: “*Se ha dicho que si yo midiera 3'' más que 5'-8 ½'', todas mis viviendas serían de proporciones diferentes. Probablemente.*”

ausencia de particiones interiores generando una mayor libertad especial, en la que se basa la configuración de la vivienda moderna.

A través del análisis constructivo y medioambiental de su obra se comprende que el resultado formal de su arquitectura es fruto de las ideas del arquitecto resumidas en los tres conceptos anteriores. Así la horizontalidad *wrightiana* que en numerosas ocasiones se ha asociado a una estrategia formal de acercamiento a la *prairie* tan amada por Wright, es también resultado de una serie de decisiones basadas en la reducción espacial, de elementos innecesarios, ligados íntimamente con condicionantes medioambientales. Así, la reducción del volumen debido a la reducción de la altura de la vivienda, genera menos aire a calentar o ventilar en términos de climatización.

En relación a esta disertación, Wright hace alusión a aspectos formales de su arquitectura como la ventana en esquina que ha sido numerosas veces copiada, sin embargo, sin tener en cuenta la idea primigenia, que subyace bajo el elemento formal, la continuidad espacial y la iluminación natural. Del mismo modo, para el arquitecto, cada material tiene una forma de utilizarse que condiciona un sistema constructivo concreto. Un diseño apropiado para un material a lo mejor no lo es para otro, debido a su naturaleza. Una elección diferente de materiales tendría como consecuencia un edificio diferente. Su arquitectura está fuertemente ligada a la construcción y a los materiales que emplea.

El arquitecto pone como ejemplo el Unity Temple, (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1904) primer edificio monolítico de hormigón. Si hubiera empleado otro material como el ladrillo hubiera sido un edificio diferente. Sin caer en el estilo puesto que según sus propias palabras:

*“I had built 187 buildings, ..., and all together they did not classify as a style. Nevertheless, all had “style.”*⁸⁷ (Wright 1954, 30)

Este período se caracteriza por el empleo de nuevos materiales como el hormigón, y nuevos sistemas constructivos, que permiten a su vez abrir el espacio interior hacia el espacio exterior, la naturaleza, a través de grandes fachadas acristaladas. Los interiores de las viviendas de la *Prairie-School* son más luminosos que los diseñados en su época más ecléctica. La ausencia de particiones interiores hace posible además la iluminación de los espacios interiores a través de varias orientaciones.

*“More and more, so it seems to me, light is the beautifier of the building.”*⁸⁸ (Wright 1954, 33)

Características principales

⁸⁷ Traducción: “He construido 187 edificios, ..., y todos ellos no se clasifican en un estilo. Sin embargo, todos tienen “estilo”.”

⁸⁸ Traducción: “Cada vez más, para mí, la luz es la decoración del edificio.”

Durante esta época Wright realiza numerosos encargos en Oak Park, Illinois, pero también en otros estados del este de EE. UU. Con una mayor libertad y liberado del eclecticismo de finales del S. XIX, las viviendas presentan plantas en las que la fluidez y continuidad espacial son más comunes, generando como resultado planta con forma de molinillo *pinwheel* y cruciforme como la residencia Walter V. Davidson (Buffalo, Nueva York, EE. UU, 1908). Esta planta junto con la ausencia de particiones interiores favorece la iluminación natural y la ventilación natural fruto de las diferentes orientaciones de las estancias.

Las viviendas generalmente presentan planta baja para usos vivideros y planta primera para dormitorios. El sótano se ha reducido a un pequeño espacio para almacén y el ático ha desaparecido en la mayoría de las residencias.

La chimenea sigue siendo una constante en la obra de Wright, generalmente construida con fábrica de ladrillo o mampostería de piedra se ubica en el centro y dependiendo de las dimensiones de la vivienda, va a existir una única en el salón, y otra en el dormitorio principal. La instalación de un sistema de calefacción propio a través de radiadores es prácticamente una característica común de las viviendas de esta época como en la vivienda Charles A. Brown (Evanston, Illinois, EE. UU, 1905) o la residencia Frederick C. Robie (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1908-09) en la que para obtener una mayor libertad espacial Wright ubica los radiadores encastrados en el suelo, lo que podría verse como la introducción del *Gravity Heat* sistemático de las viviendas *usonianas*.

Los materiales empleados siguen siendo madera, ladrillo, estructura de acero, permitiendo crear los grandes voladizos y las grandes superficies acristaladas como en la casa Robie. Una característica común es la reducción de la ornamentación y la simplicidad formal.

Tras la construcción del Templo Unitario, Wright quedó fascinado con el hormigón y comienza a investigar en lo que él denominó *A fire proof house for 5000 \$*. La primera residencia para Stephen M. B. Hunt Residence I, 1907, es uno de los mejores ejemplos de este modelo de vivienda. Pensada en hormigón para alcanzar la resistencia a fuego, finalmente no se empleó por ser demasiado cara para crear un espacio reducido.

Si bien es cierto que numerosos proyectos provenían de encargos de clientes adinerados, como son la casa Robie, o la residencia para Darwin D. Martin (Buffalo, Nueva York, EE. UU, 1904,) también, durante esta época y siguiendo su idea de vivienda por 5.000\$, desarrolla el complejo residencial *Ravine Bluffs* (Glencoe, Illinois, EE. UU, 1915) para Sherman M. Booth, incluida su propia vivienda y 5 casas más para alquilar. Se trata de viviendas de dos plantas y un sótano para almacén y zona de lavado. Una de las viviendas del complejo, la residencia Hollis R. Root, poseía un sistema de recuperación de agua de lluvia en la cubierta que llenaba un depósito ubicado en el sótano para su utilización (Storrer [1993] 2006, 191). Estas viviendas se caracterizan por líneas depuradas, la ausencia de toda ornamentación

Figura 62. Residencia Hollis R. Root, complejo residencial de Ravine Bluffs, Glencoe, Illinois.
<http://www.findingmrwright.com/residential/1910-1915/ravine-bluffs-22/#bwg72/603>

En la imagen (Figura 62) se aprecia la cubierta plana, pendiente incluso al interior canalizando el agua de lluvia a través del hueco de la chimenea ubicada en el centro de la vivienda.

Vivienda representativa

Un claro ejemplo de vivienda construida aplicando principios bioclimáticos es la casa Frederick C. Robie, en Chicago, construida entre 1908-09, que se ha descrito en el capítulo anterior. A continuación, se muestra la planta baja (Figura 63). Se puede ver la continuidad espacial, la zona vividera de salón comedor es un único espacio compartimentado a través de la chimenea y la escalera ubicadas en el centro (Figura 63 y Figura 64) (Storrer [1993] 2006, 126). Este gran espacio presenta orientaciones sur y norte, mientras que la cocina, el baño, y el pasillo de acceso a los dormitorios de sirvientes se encuentran en la fachada norte. El salón, presenta ventanas en las fachadas opuestas, permitiendo la ventilación cruzada para refrescar la vivienda en verano. La vivienda se caracteriza por los grandes voladizos que protegen las fachadas acristaladas y, además, para evitar el sobrecalentamiento la zona del salón, Wright realizó la cubierta ventilada.

Figura 63. Casa Robie, planta baja (Storrer [1993] 2006, 127).

Figura 64. Casa Robie. Imagen de la chimenea central vista desde el salón, se muestra el hueco que comunica con el comedor. Fotografía de Jaime Beltrán.

1.1.3. *American System-Built Homes* (1912-17)

Durante la década de los años '10, Wright experimenta con un nuevo sistema constructivo hacia la prefabricación constructiva que estará presente a lo largo de su obra y que culmina con las viviendas *Usonian Automatic*,

Este sistema constructivo consistía en una estructura de madera cuyas piezas eran cortadas a medida, transportadas y ensambladas directamente a pie de obra reduciendo los plazos de construcción y los residuos durante la obra. Lo cual suponía al mismo tiempo disminución de mano de obra. Esta idea, aparece en 1911 y en 1916 la retoma para la construcción de los complejos de apartamentos Arthur R. Munkwitz Duplex y Arthur L. Richards Duplex (Milwaukee, Wisconsin, EE. UU, 1916).

Características principales

Los primeros bungalows eran todos de una única planta con un sótano para instalaciones de agua caliente y calefacción, comunicado directamente a la cocina a través de unas escaleras. Eran viviendas de tamaño reducido con dos dormitorios y un baño. Generalmente, la zona vividera, compuesta por un único espacio de salón comedor orientado al sur abierta al porche cubierto que servía de transición con el exterior, y la cocina orientada al norte. Wright diseñó varios modelos que serían aplicables según las necesidades del cliente.

Generalmente eran plantas cuadradas, derivadas del modelo de *Fireproof House for 5000 \$*.

El sistema de calefacción se componía de una única chimenea situada en el espacio de salón comedor y un sistema de radiadores de agua caliente para los dormitorios.

Para favorecer el confort interior en verano, diseñó la cubierta ventilada con aperturas en el soffit del voladizo, que aplicaría en otras viviendas.

Todas las viviendas poseen numerosas ventanas, iluminando de forma natural el interior y todas ellas son practicables para favorecer la ventilación natural.

Wright diseñó más de 3 docenas de diferentes unidades de viviendas entre bungalows y viviendas de dos plantas o apartamentos dúplex. El proyecto fue anunciado en el *Chicago Sunday Tribune* (marzo 4, 1917) ofreciendo viviendas de reducido tamaño desde 2750\$ y viviendas más grandes desde 5000\$. Un mes después, Estados Unidos entra en la I Guerra Mundial, lo cual pudo frenar este primer intento de Wright hacia la vivienda de costes reducidos que más tarde retoma en las viviendas *usonianas*, tras la gran depresión del '29.

Vivienda representativa

A continuación, se muestra la residencia Arthur L. Richards Small House (Milwaukee, Wisconsin, EE. UU, 1915) como modelo representativo de las *American System-Built*

Homes desde el punto de vista medioambiental. Corresponde al modelo B-1 diseñado por Wright, de una única planta y un sótano para instalaciones (Figura 65). Cuenta con dos dormitorios, un baño, una cocina orientada al norte y un espacio único de salón comedor con orientaciones sur y este conectado con el exterior a través de una terraza cubierta (Figura 66).

Al igual que la residencia Hollis R. Root, este modelo tenía un sistema de recuperación de agua de lluvia en un depósito en el sótano para la reutilización de la misma. Según la documentación encontrada sobre la vivienda, ésta tenía un sistema primario de aire acondicionado, empleando el conducto de la chimenea para ventilación de la vivienda en verano.

El presupuesto de la vivienda fue de 1.835\$ (Storrer [1993] 2006, 204).

Figura 65. Residencia Arthur L. Richards Small House (el norte coincide con la vertical).
<http://images.lib.ncsu.edu/luna/servlet/view/all/who/Wright,%20Frank%20Lloyd/what/Architecture/?widgetFormat=html&os=700&widgetType=thumbnail&showAll=where&embedded=true&res=2>

Figura 66. Residencia Arthur L. Richards Small House. Vista frontal. Fotografía autor desconocido. (referencia).

1.2. Período de transición (1915-19)

El encargo del hotel Imperial (Tokyo, Japón, 1915-19) lleva a Wright a pasar grandes temporadas en Japón donde le encargan el diseño de 3 viviendas, una de ellas para el manager del antiguo Hotel Imperial, la residencia Aisaku Hayashi (Tokyo, Japón, 1917) (Storrer [1993] 2006, 209).

Wright sintió una gran admiración por la cultura y la arquitectura japonesa. Sus largas estancias le llevaron, como el mismo arquitecto narra, al diseño e integración del *Gravity Heat* en las viviendas *usonianas*,

Vivienda representativa

Dentro de las viviendas japonesas cabe destacar la residencia Tazaemon Yamamura (Ashiya, Japón, 1918). La vivienda se ubica en una zona escarpada y se asienta sobre el terreno a través de 4 niveles diferentes. La planta presenta forma de “L” abierta al este hacia las vistas sobre la bahía de Osaka (Figura 67). En una de las alas sitúa las zonas vivideras con ventanas en las fachadas enfrentadas favoreciendo la ventilación natural y en la otra, los dormitorios, comunicados a través de la típica galería semicubierta japonesa, que hace las veces de tampón medioambiental (Storrer [1993] 2006, 215). Esta configuración se va a repetir en numerosas viviendas *usonianas* como por ejemplo en la casa Jacobs I.

Figura 67. Residencia Yamamura. Planta (https://www.yodoko.co.jp/geihinkan/tour_e/10.html)

La vivienda fue construida con la piedra volcánica de la zona, que Wright emplea para el Hotel Imperial. El resultado es muy similar a las viviendas *Textile Block* que diseñó durante la década de los años '20 en Los Ángeles.

Alternando su estancia en Japón, el arquitecto diseña la Hollyhock House en Los Angeles, California, para Aline Barnsdall en 1917.

1.3. Vivienda Usoniana (1923-59)

Si bien es cierto que la primera vivienda que Wright diseñó para la familia Jacobs I ha sido considerada como la primera vivienda *usoniana*, en su autobiografía, declara que realmente fue la construcción de la vivienda La Miniatura en Pasadena, California la que dio paso a las viviendas *usonianas*.

Como se ha comentado anteriormente, la evolución de la vivienda en Wright es una evolución continua, y la casa *usoniana* no existiría si no hubiera habido anteriormente las viviendas de la *Prairie School* de Oak Park. Incluso se podría afirmar que éstas son *usonianas* puesto que el arquitecto plasma en ellas algunos de sus principios focalizados en diseñar la vivienda americana. En las *American System- Built Homes*, ya se intuye un cierto enfoque hacia la prefabricación de la vivienda y la reducción del presupuesto con el objetivo de ser más accesible económicamente. Sin embargo, la crisis del '29 y la depresión de los años '30, llevan a radicalizar sus ideas que plasma en la idea de urbanismo utópico de *Broadacre City* y en la construcción de la casa Jacobs I.

1.3.1. Textile Block Houses (1923-24)

Tras su experiencia en Japón, Wright se traslada su residencia a Los Ángeles con su hijo Loyd Wright debido a nuevos proyectos. Uno de ellos consistía en la segunda vivienda para la Alice Millard, para quien había diseñado una vivienda en Highland Park, Illinois en 1906, dentro del “estilo” *Prairie school*. En su Autobiografía, Wright narra los numerosos problemas durante la construcción de la vivienda. Esta supuso el primer modelo de vivienda empleando el sistema constructivo de bloques de hormigón (descrito en el capítulo anterior). A pesar de los numerosos problemas fruto del empleo del nuevo sistema constructivo y del presupuesto, tanto el cliente como el propio arquitecto quedaron satisfechos del resultado:

“... because I would rather have built this little house than St. Peter's at Rome.”⁸⁹ (Wright 1943, 252)

Las *Textile Block Houses* tienen la particularidad del sistema constructivo que es el resultado de una búsqueda hacia una reducción del presupuesto empleando materiales de construcción de bajo presupuesto, hacia una prefabricación y reducción de los plazos de construcción y los residuos en la fase de construcción. En todas, el arquitecto implementa las ideas que venía desarrollando, la continuidad espacial minimizando las particiones interiores, reducción de espacios innecesarios, reducción de la ornamentación.

⁸⁹ Traducción: “... porque yo prefiero haber construido esta pequeña vivienda que San Pedro en Roma.”

Las cuatro viviendas que construyó en Los Ángeles, presentan plantas mostrando la continuidad espacial y dimensiones más reducidas que las viviendas de Oak Park, a excepción de la residencia Ennis (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923).

Características principales

La característica común de estas viviendas es el sistema constructivo y las ideas de base que Wright utiliza para su diseño. Sin embargo, el entorno, la topografía y el cliente, hacen de cada una de ellas un caso particular.

Cabe destacar el comportamiento higrotérmico del sistema constructivo. El sistema se compone de una doble fachada de bloques de hormigón atadas a través de redondos de acero, con una cámara de aire entre ellas aportando aislamiento a la vivienda. La doble fachada reduce los puentes térmicos favoreciendo el comportamiento térmico de la vivienda.

Vivienda representativa

A continuación, se presenta la vivienda para Harriet y Samuel Freeman (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923) (Storrer [1993] 2006, 221). La vivienda está ubicada en las colinas de Santa Mónica y se desarrolla en dos plantas. La planta primera, de acceso a través del garaje, lleva a las zonas vivideras. El salón orientado hacia el sur presenta un balcón con vistas hacia la ciudad de Los Ángeles. Esta es una de las primeras viviendas en que la cocina no es independiente del espacio del salón-comedor, que tanto se repite en las viviendas *usonianas* posteriores. El salón cuenta con una gran chimenea como único sistema de calefacción ubicada en la pared norte formada por bloques de hormigón. El clima mediterráneo de Los Ángeles no requería un sistema de calefacción complementario.

En la planta baja se ubican dos dormitorios, un baño, otra zona de estar y un espacio bajo el garaje para almacén y lavadero (Figura 68). Los dormitorios tienen acceso a la terraza exterior a través de las grandes superficies acristaladas que favorecen la continuidad espacial entre interior y exterior.

La vivienda se encuentra enclavada en la colina, estando la fachada norte prácticamente enterrada. Por el contrario, la fachada sur, en ambas plantas es completamente abierta hacia la orientación favorable y las vistas.

Los materiales empleados son los bloques de hormigón, con motivos de decoración o desnudos, la madera para la estructura horizontal.

Figura 68. Casa Freeman. Planta principal y planta baja (Storrer [1993] 2006, 221).

Como se aprecia en la planta (Figura 68), la vivienda cuenta con grandes superficies acristaladas en las fachadas opuestas, todas ellas practicables, que permiten la ventilación natural y cruzada refrescando la vivienda en verano. Además, al estar anclada en el terreno gracias a la influencia de la inercia térmica, se puede prever que la vivienda va a tener un comportamiento térmico agradable gracias a la reducción del impacto de la fluctuación térmica exterior.

Sin embargo, el estudio realizado por Marc Schiler sobre la vivienda, a través de la medición de temperatura in-situ y la simulación digital no aporta los resultados favorables que se podrían esperar (Schiler y Brahmbhatt 2006). Respecto a este análisis, hay que señalar que las condiciones en que se realizó la toma de datos no corresponden a las condiciones con las que Wright diseñó la vivienda. La acción de la chimenea como sistema de calefacción no se ha tenido en cuenta, ni la ventilación natural a la hora de refrescar la vivienda en verano.

Tras un breve período en Los Ángeles, Wright regresa a Wisconsin y realiza varios encargos singulares entre los que destaca la famosa Casa de la Cascada (Mill Run

Pensylvania, EE. UU, 1935), y el gran proyecto de los edificios administrativos para la S. C. Johnson & Son Company (Racine, Wisconsin, EE. UU, 1936-40).

1.3.2. *Usonian Houses* (1934-59)

Durante la década de los años '30, Wright continúa desarrollando sus ideas en busca de la vivienda americana. En 1932, con la publicación de *The disappearing city*, Wright describe sus ideas de desarrollo urbano, que años más tarde plasma con la construcción de la maqueta de *Broadacre City*. Se trata de un planeamiento urbano a la vez que una idea socio política. Cada familia tendría una parcela de 1 acre (4.000 m² aproximadamente) procedente de las reservas federales en las que construiría su vivienda *usoniana*.

En el modelo de vivienda *usoniana*, el arquitecto plasma de forma sistemática las ideas que venía desarrollando desde el comienzo de su obra con la intención de generar la vivienda americana para la nueva y moderna vida americana.

El desarrollo del modelo *usoniano* está relacionado con la gran depresión del '29 y el período entre guerras. A lo largo de la evolución de la vivienda *usoniana* se experimenta una evolución del empleo de los materiales. Las primeras viviendas eran de madera, con un sistema constructivo sencillo, diseñado por Wright, *board-and-batten*, empleando la fábrica de ladrillo de forma puntual, en el núcleo de chimenea, como es el caso de la primera residencia para la familia Jacobs o la vivienda para Loren B. Pope (Falls Church, Virginia, EE. UU, 1939). A medida que la economía se va recuperando, materiales más nobles y más caros, empiezan a ocupar su lugar dentro de las viviendas *usonianas*; como la residencia para Douglas y Jackie Grant (Marion, Iowa, EE. UU, 1946) o la vivienda para Alvin Miller (Charles City, Iowa, EE. UU, 1946) en las que la piedra, procedente de la zona, forman las fachadas de las viviendas. Igualmente, las estructuras de acero y de hormigón armado comienzan a aparecer para lograr las grandes luces de los tan característicos voladizos, como el caso de la anteriormente mencionada residencia Grant, con un voladizo de hormigón armado de 8'-0" (2.43 m).

En los diseños de finales de los años '40 empieza a utilizar el bloque de hormigón, que había abandonado tras su experiencia californiana, lo que dará paso a las *Usonian Automatic Houses* de los años '50, como son algunas de las viviendas del complejo residencial de *Galesburg Country* (Galesburg, Michigan, EE. UU, 1948) y el *Parkwyn Village* (Kalamazoo, Michigan, EE. UU, 1948-50). La idea de la industrialización y de la construcción en serie a través del sistema *Usonian Automatic* se basaba en el objetivo de reducir aún más el presupuesto de la construcción de las viviendas.

Características principales

Las viviendas tienen principalmente una planta, el sótano se ha reducido a lo mínimo necesario para albergar las instalaciones de calefacción y agua caliente, y el ático ha desaparecido. Las estancias para los sirvientes, siguiendo la democratización de la sociedad americana va desapareciendo progresivamente, reduciendo el tamaño de las viviendas, generalmente con dos o tres dormitorios. La planta primera albergando los

dormitorios en las viviendas de la *Prairie-School*, se reubica en la planta baja, con dimensiones más reducidas, basadas en la funcionalidad espacial.

En todas ellas, todo aquello superfluo e innecesario no tiene cabida. La ornamentación que se encontraba en las viviendas de la etapa *Prairie School*, o la decoración de los bloques de hormigón de las *Textile Blocks* californianas ha desaparecido. La belleza de la vivienda reside en la configuración del espacio, los materiales y el tratamiento de la luz. Es necesario destacar que se trata de la década de los años 30, tras la gran depresión y en los años entre guerras.

Se trata de viviendas funcionales en que la zona de estar, vividera ocupa prácticamente la mitad de la vivienda en superficie y se encuentra espacialmente independiente de las zonas de dormitorios. No existía una planta característica de estas viviendas, si bien en un primer período la planta en “L” parece imponerse como la primera casa para los Jacobs (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1936), o la residencia para Stanley y Mildred Rosenbaum, (Florence, Alabama, EE. UU, 1939). A medida que va evolucionando van abriéndose en una planta más alargada como la residencia para Charles L. Manson (Wausau, Wisconsin, EE. UU, 1938), en “T” como la residencia para Robert Levin (Kalamazoo, Michigan, EE. UU, 1948) o incluso con forma de semicírculo como el hemicírculo solar, segunda vivienda para la familia Jacobs (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1944) con dos plantas, o la vivienda para Lilliam y Curtis Meyer (Galensburg, Michigan, EE. UU, 1948). No existe una planta modelo, la vivienda se ajusta a la parcela, a su topografía, y orientación, a las necesidades de cada familia., siguiendo los mismos principios de diseño.

La cocina, o el *workspace* de Wright, deja de ser una estancia cerrada y empieza a formar parte del espacio continuo y fluido de la zona vividera de la vivienda de forma sistemática. Para evitar el flujo del aire viciado de la cocina a la estancia del salón, Wright diseña el espacio *workspace* de mayor altura, con una serie de ventanas altas corridas y practicables que permiten la evacuación de los humos provenientes de la cocina, al igual que la iluminación natural de este espacio, que, en numerosas disposiciones, como en la casa Jacobs I, se sitúa en el centro de la vivienda.

El sistema de calefacción empleando radiadores desaparece para dar paso de forma sistemática al sistema *Gravity Heat*, explicado en el capítulo anterior. Este sistema, además de sus ventajas térmicas, permitía una mayor libertad de diseño, el elemento físico del radiador desaparece, y la calefacción queda “escondida” en la solera de hormigón. Este sistema se complementa con la siempre utilizada chimenea wrightiana, ubicada generalmente en el centro de las estancias vivideras, como si del “corazón” de la vivienda se tratara.

La conexión con el entorno el lugar, el jardín continúa siendo una característica de su obra. Las viviendas evolucionan abriéndose a través de grandes superficies acristaladas al jardín, a la naturaleza. Los espacios interiores son más luminosos que aquellos de las viviendas *Prairie-School*, además la disposición de la planta, permite varias

orientaciones, favoreciendo por un lado la iluminación natural durante todo el día y la ventilación natural.

Pero la aparición de las grandes superficies vidriadas, lleva consigo la necesidad de protección que Wright ya empleaba en sus viviendas. Los voladizos de las viviendas *usonianas* se acentúa, y evolucionan hacia voladizos más permeables, tipo pérgolas como la residencia para Geroge D. Sturge (Brentwood Heights, California, EE. UU, 1939).

Todas las viviendas se rigen según un módulo, una malla, que denominó *unity system*. Este módulo queda plasmado en el acabado de la solera, y todos los elementos constructivos siguen el módulo establecido. En cierto modo, se puede ver una modulación de la vivienda, favoreciendo de forma sencilla posibles modificaciones, ampliaciones, en función de la evolución de la familia americana. Por ejemplo, el diseño original de la casa Jacobs I era con 2 dormitorios, finalmente se añadió un tercero como continuidad del ala de dormitorios.

Vivienda representativa

Dentro de las viviendas *usonianas* destacan las dos viviendas que el arquitecto diseñó para la familia Jacobs, modelo de familia media americana; la casa Jacobs I y el hemicíclo solar.

La Jacobs I representa el modelo de vivienda *usoniana*, de una sola planta, y con planta en forma de “L” (Figura 69), está construida siguiendo un *unity system* de 2’-0” x 4’-0”, y fue la primera vivienda en que Wright experimentó el sistema de calefacción por suelo radiante *Gravity Heat* (Jacobs 1978).

Figura 69. Casa Jacobs I. Planta (Peiffer y Futagawa 1988).

La segunda vivienda para la familia Jacobs, tiene planta semicircular, y sus usos se distribuyen en dos plantas; la planta baja alberga las zonas vivideras y la planta primera los dormitorios (Figura 70).

Figura 70. Hemiciclo **Solar**. **Planta baja** (Storrer [1993] 2006, 292).

Las dos viviendas siguen las mismas estrategias de diseño que se han descrito anteriormente; cocina integrada en el espacio principal, gran chimenea en el salón y sistema *Gravity Heat* como sistemas de calefacción. Las viviendas están orientadas aprovechando las ventajas del sol en invierno, y protegiéndose durante los meses estivales a través del voladizo. Las fachadas sur y este están formadas por grandes superficies acristaladas, que en el caso de la Jacobs II, comprenden prácticamente toda la fachada, mientras que las fachadas opuestas, son prácticamente ciegas, a excepción

de una serie de ventanas corridas, en la parte superior para favorecer la ventilación natural (Jacobs 1978).

Se trata de dos soluciones formales diferentes de aproximarse a un programa definido y a unas necesidades, y en emplazamientos diferentes. En el apartado siguiente, se van a analizar con detalle estas dos viviendas pues son consideradas dentro de los ejemplos analizados en este punto las de mayor calidad medioambiental.

1.3.3. *Masonry Desert* (1937 construcción de Taliesin West, Scottsdale, Arizona, EE. UU-1959)

Empleando el sistema de muros de hormigón junto con las piedras del desierto Wright diseñó Taliesin West en 1937, 4 residencias; la residencia Rose Pauson (Phoenix, Arizona, EE. UU, 1939), la casa de vacaciones para Arnold Friedman The Fir Tree (Pecos, New Mexico, EE. UU, 1945), la casa Oboler (Malibu, California, EE. UU, 1955), y la vivienda para Jorgine Boomer (Phoenix, Arizona, EE. UU, 1953) y la iglesia para la congregación Pilgrim (Redding, California, EE. UU, 1958). Wright utilizó este mismo sistema de forma anecdótica en otras residencias como la vivienda para Gabrielle y Charley Austin (Greenville, Carolina del Sur, 1951) o la residencia para a. k. Chahroudi (Lake Mahopac, Nueva York, 1951).

Características principales

Como se describe en el capítulo anterior, este sistema emplea las rocas encontradas en el desierto, normalmente procedentes de la excavación para la cimentación. El clima de Arizona y Nuevo México es un clima árido. La construcción de muros mezcla de hormigón y roca del desierto con un espesor de 60 cm confiere a estos edificios una gran inercia térmica que junto con la ventilación cruzada y la protección del sol de la vivienda favorecen el confort térmico en el interior.

Vivienda representativa

A continuación, se muestra la residencia Rose Pauson (Storrer [1993] 2006, 259). La vivienda sufrió un incendio en 1943, y sólo quedó la estructura de piedra y la chimenea. Además del sistema *masonry desert*, Wright empleó el sistema constructivo característico de sus viviendas *usonianas board and batten*. La madera se empleó para la estructura horizontal.

La vivienda se ubica en lo alto de una pequeña colina y tiene dos plantas. La planta baja alberga los usos vivideros y un dormitorio independiente para los sirvientes, y la planta primera tres dormitorios (Figura 71 y Figura 72).

Figura 71. Residencia Rose Pauson Phoenix, Arizona. Planta baja.
<http://wrightchat.savewright.org/>

Figura 72. Residencia Rose Pauson Phoenix, Arizona. Planta primera.
<http://wrightchat.savewright.org/>

Puesto que se trata de un clima árido con altas temperaturas, Wright diseña una vivienda orientada y abierta hacia el este. Dicha fachada dispone de grandes ventanas practicables que al abrirse hacen que el espacio interior se transforme en exterior (Figura 73). Por el contrario, la fachada oeste, orientada hacia la vía pública, y la fachada sur, son prácticamente ciegas, para protegerse del sol (Figura 74). Existía una terraza como continuidad del salón orientada al norte, y otro espacio exterior bordeando los dormitorios en la planta primera con orientación este y sur.

Figura 73. Casa Rose Pauson. Fachada este abierta. <http://mlmrarquitectos.com/rose-pawson-house-1942/#>

Figura 74. Casa Rose Pauson. Fachada oeste prácticamente ciega. <http://mlmrarquitectos.com/rose-pawson-house-1942/#>⁹⁰

La vivienda contaba con una chimenea en la zona del salón y otra en el dormitorio principal en la planta primera.

Dicha vivienda es un claro ejemplo de cómo Wright se aproxima al lugar, al entorno, empleando los materiales de la zona y diseñando junto con la naturaleza y el clima para

⁹⁰ Las dos imágenes pertenecen a una serie de fotografías de la vivienda original retocadas por los arquitectos de mlm arquitectos.

alcanzar el confort interior. Las ideas *usonianans* están implícitas, sin embargo, el resultado formal tan diferente, demuestra la aproximación al lugar.

1.3.4. Usonian Automatic (1948-59)

Este sistema es la evolución de las *textile block houses* californianas. Wright lo retoma en la década de los años '50, empleando bloques de hormigón más sencillos, sin ornamentación y de mayor tamaño disminuyendo los plazos de la obra, con el objetivo de reducir el presupuesto. Wright en su libro *The Natural House* habla de un presupuesto de 15.000\$ y 25.000\$ (*The Natural House*, page 197).

Características principales

Las viviendas *Usonian Automatic* se caracterizan por tener generalmente una única planta a excepción de la residencia para el Dr. H y Dorothy H. Turkel (Detroit, Michigan, EE. UU, 1955) que tiene dos plantas. La disposición en planta de las distintas estancias sigue las ideas de las viviendas *usonianas*. Sin embargo, se aprecia una cierta libertad compositiva, que las construcciones anteriores no presentan.

Si bien las *textile block houses* fueron un experimento construido en la zona de Los Ángeles, con un clima mediterránea, las *Usonian Automatic*, se contruyeron independientemente del clima del lugar. Por ejemplo, la vivienda Benjamin Adelman (Phoenix, Arizona, EE. UU, 1951) construida en un clima árido. O la vivienda para el Dr. Toufic H. y Mildred Kalil (Manchester, New Hampshire, EE. UU, 1955) con un clima continental húmedo.

Generalmente las viviendas poseen una chimenea dentro del salón y ocasionalmente otra en el dormitorio principal. Aquellas en que el clima lo requiere, contaban además con un sistema de calefacción "*Gravity Heat*" más evolucionado. Hacia 1955, numerosas de las viviendas construidas poseían además un sistema de aire acondicionado, como la residencia para Theodore A. y Bette Pappas (Saint Louis, Missouri, EE. UU, 1955). La vivienda para Elisabeth y William B. Tracy (Nomandy Park, Washinton, EE. UU, 1955) incluye aislamiento en su construcción.

En cuanto a la orientación de las estancias de la vivienda, se puede apreciar una cierta desconexión entre la orientación y el uso de la estancia. La documentación consultada no permite saber si se trata de condicionantes urbanísticos, o del lugar.

Cabe preguntarse si la tecnificación de la construcción a través de las *Usonian Automatic* y el empleo de sistemas de aire acondicionado ha provocado una cierta desconexión de la arquitectura con el entorno, con el clima, en definitiva, con la naturaleza. La vivienda aparece más como un objeto posado sobre el terreno y no emergiendo de él como lo harían las primeras viviendas *usonianas*

Vivienda representativa

A continuación, se muestra la residencia Benjamin Adelman (Phoenix Arizona, EE. UU, 1951), la segunda vivienda que Wright diseñó para la familia Adelman. Mientras que otros de los ejemplos de viviendas *Usonian Automatic* empleaban una estructura de vigas de hormigón para cubrir las luces de la cubierta revestidas de un falso techo de madera, esta vivienda fue construida empleando bloques de hormigón igualmente para la estructura horizontal, a modo de una losa bidireccional.

La vivienda consta de dos edificios independientes (Figura 75) y conectados entre sí a través de una pérgola cubierta en una de sus fachadas con una pantalla de bloques de hormigón acristalados. Hay que señalar que el clima árido de Phoenix, hace que los espacios exteriores puedan emplearse durante una gran parte del año.

El edificio principal, alberga las zonas vivideras junto con la cocina, y el dormitorio principal además de un baño completo. La zona central se abre a una terraza orientada al norte, y al jardín, mientras que la fachada sur es menos permeable. Para iluminar estas estancias, parte del salón y de la cocina tienen doble altura compuesta de bloques de hormigón acristalados. Se desconoce si estos bloques forman parte de ventanas practicables, lo cual favorecería la ventilación natural permitiendo la salida de aire caliente del interior de la vivienda a través de estas ventanas altas, estrategia empleada en numerosas viviendas *usonianas* como la Jacobs I. El salón consta de una gran chimenea central, como único sistema de calefacción.

El edificio secundario alberga un dormitorio de invitados con un baño y una zona de estar y el dormitorio de servicio. La zona de estar consta de una chimenea como sistema de calefacción, y está abierta al jardín común a través de sus fachadas norte y este.

La vivienda contó con un presupuesto de 25.000\$ (Wright 1954, 204).

Figura 75. Residencia para Benjamin Adelman, Planta.
<http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS344.htm>

1.4. Conclusiones

El análisis realizado hace un breve estudio de la arquitectura residencial del arquitecto americano, demostrando que la relación con la naturaleza ha sido siempre una máxima de su obra. Esta relación se traduce en el empleo de estrategias de diseño condicionadas y basadas en el clima en que edifica sus edificios. Así en un clima árido como Phoenix, la vivienda está orientada protegiéndose del sol, empleando materiales de la zona y sistemas constructivos que favorecen el confort térmico en el interior, como el sistema *masonry desert*. Mientras, en Wisconsin, con un clima continental húmedo, la vivienda se orienta de forma que aprovecha las ventajas del sol en los meses más fríos, diseñando elementos de protección para los meses más calurosos.

Una característica común de su obra, residencia, es la continuidad espacial del interior de la vivienda hacia el exterior. Para ello el arquitecto emplea varias tipologías espaciales en función del clima y del entorno en que se ubica la vivienda. Espacio exterior cubierto y conectado con el interior; espacio exterior tipo terraza o jardín al que se orientan los espacios interiores; espacios interiores (cubiertos) y protegidos del clima abiertos a través de grandes fachadas acristaladas que en modo abierto son parte tanto del interior como del exterior.

De cada período se ha destacado una vivienda representativa, en la que los atributos medioambientales cobran más importancia. Resulta necesario destacar, que, en una buena parte de la arquitectura de Wright, y en la arquitectura en general, detrás de una obra “transgresora” se encuentra un cliente “predispuesto”. Por citar los ejemplos anteriormente expuesto, la casa Winslow, la casa para Alice Millard como primer modelo de *Textile Block House*, y vivienda *usoniana*; o las dos viviendas para la familia Jacobs, primer experimento de *Gravity Heat* y primer hemicycle solar respectivamente.

La vivienda *usoniana* introduce en el diseño arquitectónico el empleo sistemático de estas estrategias bioclimáticas. Sin embargo, a medida que la tecnología evoluciona, y el uso del aire acondicionado se estandariza, a pesar de un primer rechazo por parte de Wright,⁹¹ este elemento comienza a aparecer en las viviendas *Usonian Automatic*, lo que puede traducirse en un cierto alejamiento del entorno y del clima como base del diseño arquitectónico. Además, la instalación y el uso del sistema de aire acondicionado encarece la vivienda, lo cual va en contra de la idea primigenia de la vivienda de bajo presupuesto para la familia media americana.

De los ejemplos destacados en este capítulo, se van a analizar con más detalle las dos viviendas que el arquitecto diseñó para la familia Jacobs. Se considera que ambas engloban de forma representativa las estrategias medioambientales y bioclimáticas que Wright empleó para alcanzar el confort en el interior de las viviendas, que será el objetivo a analizar en el siguiente capítulo.

⁹¹ Se recuerda la frase: “*To me air conditioning is a dangerous circumstance.*”

A continuación, se presenta a modo de resumen la Tabla 8. Resumen de las viviendas características anteriormente descritas

LA VIVIENDA EN LA OBRA DE FRANK LLOYD WRIGHT		PRE-USONIANA (1887-1917)	
		<i>Pre-Prairie</i> (1887-1900)	<i>Prairie-School</i> (1900-15)
Datos generales	Nombre (En inglés)	William Herman Winslow Residence and Stable	Frederick C. Robie Residence
	nº F.L.W Companion ⁹²	S. 024	S. 127
	Fecha (proyecto)	1894	1906
	Situación	River Forest, Illinois, EE.UU	Chicago, Illinois, EE.UU
	Número de Plantas	Sótano + PB + 1 + Ático	PB + 1 (pral.) + Ático
	Tipología de planta	Planta cuadrada	Planta rectangular alargada
Datos Construcción	Sistema constructivo	<i>Pre-prairie</i> , sistema tradicional	<i>Prairie-School</i> , Muros de carga de ladrillo y estructura horizontal metálica grandes luces para salón y voladizos
	Materiales principales	Madera, ladrillo, mampostería y revoco	Ladrillo y mampostería de piedra horizontal. Caliza para dinteles de ventanas
Datos medioambientales	Orientación	Zonas vivideras y porche orientación sur. Cocina y garaje al norte. Escaleras y baño en fachada oeste.	Zonas vivideras orientación sur. Cocina, baño y zona de invitados y de servicio orientación norte. Porche fachada sur-oeste-norte con un gran voladizo
	Ventilación Natural	La continuidad espacial y la disposición de las ventanas en fachadas enfrentadas de las zonas vivideras de PB permite la ventilación natural	Zona del salón con grandes ventanales situados en fachadas enfrentadas permiten la ventilación natural, cubierta ventilada.
	Sistema de Protección Solar (S.P.S)	Voladizos de protección de las superficies acristaladas de ventanas	Voladizos bien diseñados protección de fachadas acristaladas al sur, y el gran espacio exterior orientado al sur-oeste-norte
	Sistema de calefacción propio	Info no disponible, es de suponer que radiadores de fundición con agua caliente	Radiadores encastrados en el suelo para favorecer la continuidad y la fluidez espacial, y en las particiones interiores
	Chimenea	Si	Si
	Sistema de climatización	No	No

⁹² (Storrer [1993] 2006)

		TRANSICIÓN (1915-20)	USONIANA (1923-59)
	<i>American System Built-Homes (1912-17)</i>		<i>Textile Block Houses (1923-24)</i>
Datos generales	Arthur L. Richards Small House	Tazaemon Yamamura Residence	Harriet and Samuel Freeman Residence
	S. 202	S. 212	S. 216
	1915	1918	1923
	Milwaukee, Wisconsin, EE.UU	Ashiya, Japan	Los Angeles, California, EE.UU
	Sótano + PB	Varios niveles	PB+ 1 (principal)
	Planta cuadrada	Planta en "L" alargada	Planta alargada
Datos Construcción	<i>American System Ready-Cut structure.</i> Estructura de madera para cerramientos y forjados	Muros de carga de piedra volcánica y cerramientos de madera. Forjados y estructura de cubierta de madera	Cerramientos de carga con bloques de hormigón ensamblados mediante redondos de acero. Forjados y estructura de cubierta de madera
	Estructura de madera y enfoscado	Piedra volcánica Oya, enfoscado y madera de caoba	<i>Textile block</i> (bloque de hormigón decorativo) y madera de eucalipto y abeto
Datos medioambientales	Zonas vivideras orientación sur con terraza como continuidad espacial. Cocina al norte y baño al oeste	Zonas vivideras y dormitorios al sureste, escaleras y baños al noroeste. Galería como espacio tampón al noroeste	Vivienda completamente "abierta" y orientada al sur y cerrada al norte
	Fachadas con elevada superficie de ventanas practicables que favorece la ventilación natural de la vivienda. Cubierta ventilada.	Vivienda compartimentada según tradición japonesa. Continuidad espacial a través de la galería tampón que permite la ventilación natural cruzada	Numerosas ventanas practicables que abren la vivienda al exterior, continuidad espacial. Espacios interiores son exteriores
	Voladizo de protección de la terraza orientada al sur	Voladizos de protección de las superficies acristaladas de ventanas	Varios espacios exteriores como continuidad de los espacios interiores. Estos están protegidos por la propia vivienda
	Se supone sistema de calefacción convencional radiadores de fundición con agua caliente. Caldera en sótano	No especifica	No especifica
	Si	Si	Si
	No	No	No

USONIANA (1923-59)			
Vivienda Usoniana (1934-59)			Masonry Desert (1937-59)
Datos generales	Herbert and Katherine Jacobs First Residence	Herbert and Katherine Jacobs Second Residence, Solar Hemicycle	Rose Pauson Residence
	S. 234	S. 283	S. 250
	1936	1944	1939
	Madison, Wisconsin, EE.UU	Middleton, Wisconsin EE.UU	Phoenix, Arizona, EE.UU
	Pequeño Sótano + PB	PB + 1	PB + 1
Datos Construcción	Planta en "L"	Planta curva en semicírculo	Planta alargada
	Cerramientos de muros de fábrica de ladrillo y de madera. Estructura de cubierta de entramado de madera	Muros de carga de piedra (doble fachada). Estructura de cubierta y fachada acristalada de vigas y pilares de madera	Muros de carga in-situ hormigón y piedra del desierto. Estructura de madera para forjados y cubierta
	Fábrica de ladrillo, madera de pino y secuoya. Carpinterías de madera de pino	Piedra caliza y madera para la estructura horizontal y carpinterías	Piedra del desierto en muro de hormigón y madera de secuoya
Datos medioambientales	Zonas vivideras orientadas al este. Dormitorios al sur. Galería tampón al norte. Baño y cocina espacio central con iluminación cenital	Vivienda completamente "abierta" y orientada al sur y cerrada al norte	Vivienda "abierta" y orientada al este y norte. Cerrada al sur y oeste. Galería como espacio tampón al oeste
	La disposición y tamaño de las ventanas en las fachadas enfrentadas permiten la ventilación natural cruzada favorecida por la orientación de la vivienda en función de la dirección de los vientos dominantes. La dimensión del espacio central y las ventanas altas practicables favorecen la evacuación del aire cálido del interior de la vivienda	La disposición y tamaño de las ventanas en las fachadas enfrentadas permiten la ventilación natural cruzada	Numerosas ventanas practicables que abren la vivienda al exterior, al este y norte. Espacios interiores son exteriores
	Voladizo de protección del porche orientado al este. La vivienda protege este espacio del sol de poniente	Los voladizos y la disposición de la vivienda protegen el espacio interior de la vivienda del sol en verano.	La propia vivienda protege los espacios interiores del sol. La terraza como continuidad espacial del interior del salón orientada al este-norte y oeste
	Gravity Heat (suelo radiante). Caldera en sótano	Gravity Heat (suelo radiante). Caldera en local de instalaciones	No especifica, dado el clima árido no sería necesario
	Si	Si	Si
	No	No	No

USONIANA (1923-59)	
	<i>Usonian Automatic</i> (1948-59)
Datos generales	Benjamin Adelman Residence
	S. 344
	1951
	Phoenix, Arizona, EE.UU
	PB
	Planta en "L", dos módulos independientes
Datos Construcción	Cerramientos de carga con bloques de hormigón ensamblados mediante redondos de acero. Forjado bidireccional a través de piezas prefabricadas de hormigón
	<i>Textile block</i> (bloque de hormigón sencillo). Carpintería metálica.
Datos medioambientales	Vivienda "abierta" y orientada al este y norte. Cerrada al sur y oeste, como protección del sol. Jardín exterior al norte, protegido por la vivienda
	Ventanas practicables en todas las estancias que permiten la ventilación natural. Las zonas vivideras están directamente abiertas al jardín norte como si fuera una zona exterior protegida
	Jardín orientado al norte, queda protegido por la propia vivienda
	Gravity Heat (suelo radiante). Caldera próxima a la cocina
	Si
	No

2. Análisis Constructivo y bioclimático de las viviendas usonianas

2.1. Primera vivienda para Herbert y Katherine Jacobs, la casa Jacobs I.

Antecedentes

La casa Jacobs I está catalogada por el *American Institute of Architects* como uno de los veinte proyectos residenciales más importantes del S. XX. En enero de 2015, once edificios de Frank Lloyd Wright, entre los que se encuentra la citada casa, han sido nominados para ser incluidos en la lista de patrimonio Mundial de la UNESCO (UNESCO 2015).

La familia Jacobs conoció a Frank Lloyd Wright en 1936 en Taliesin III. Por aquel entonces los Jacobs se mudaron por motivos de trabajo a Madison, Wisconsin, con la idea de hacerse construir una casa. A través de un amigo, aprendiz en Taliesin, decidieron contactar a Wright como arquitecto. En esa época Wright era un arquitecto de renombre. En 1935 había diseñado la Casa de la Cascada, Pennsylvania para Edgar Kaufman. Los Jacobs dudaron de que el famoso arquitecto aceptara su propuesta, ya que querían una casa modesta y de bajo presupuesto. Sin embargo, cuando Herbert Jacobs le sugirió

*"a decent five-thousand-dollar house"*⁹³ (Jacobs 1978).

el arquitecto respondió:

*"Would you really be satisfied with a five-thousand -dollar house? Most people want a ten-thousand-dollar house for five thousand dollars"*⁹⁴ (Jacobs 1978).

Añadiendo que durante veinte años él ha querido diseñar una vivienda económica y de calidad por lo que además tenía numerosas ideas, y que eran los primeros clientes que se lo pedían. Wright ha sido criticado en numerosas ocasiones por diseñar viviendas para gente adinerada, cierto es que el presupuesto de la anteriormente mencionada Casa de la Cascada ascendió a 70.000 \$ (Department of Interior, National Park Service 2003). Sin embargo, la realidad ha sido otra y prueba de ello es el caso de la casa Jacobs I. Con el presupuesto original, de 5.000 \$, el arquitecto les advirtió que deberían despojarse de varios elementos, "inútiles" para construir una casa sencilla, siguiendo los principios que quedarán posteriormente plasmados en su obra *The Natural House*.

La casa Jacobs I es conocida como la casa *Usoniana* nº 1, a partir de la cual Wright comienza a diseñar una serie de viviendas, hasta 308 proyectos diferentes y 140 construidos a lo largo de Estados Unidos, con características comunes que desarrolla

⁹³ Traducción: "una vivienda decente de 5.000\$."

⁹⁴ Traducción: "¿Estarían ustedes realmente satisfechos con una casa de 5.000\$? Casi todo el mundo quiere una vivienda de 10.000\$ por 5.000\$."

hasta el final de su obra y que han originado una nueva tipología de vivienda en la que se basa la vivienda moderna actual.

Los Jacobs adquirieron una parcela en las afueras de Madison de 60'-0'' de ancho y 120'-0'' de largo (18,28 m x 36,50 m.) por un precio de 800 \$. En septiembre de ese mismo año, Wright les muestra un primer diseño. Se trataba de una vivienda que daba la espalda a la calle, cuya fachada tenía pequeñas ventanas altas aportando privacidad, que sin embargo se abría al jardín interior a través de grandes ventanales situados tanto en el salón como en los dormitorios. En lugar de una fachada expuesta al vecindario con una clara y noble entrada, que era lo habitual de esa época, la fachada consistía en un muro de madera prácticamente ciego. Siguiendo la misma sencillez estética es la puerta de entrada, también de madera, sin ningún elemento superfluo o innecesario. La vivienda fue planificada con la idea de hacer la vida agradable al usuario y no para impresionar al vecindario, con un gran jardín trasero al que se abren todas las estancias.

Figura 76. Casa Jacobs I. Propuesta de septiembre 1936 en la parcela original. Vivienda simétrica a la vivienda finalmente construida. (The Frank Lloyd Wright Foundation Archives).

Sin embargo, esta primera propuesta ocupaba prácticamente todo el ancho de la parcela (Figura 76) a lo cual Wright sugiere que el terreno elegido por los Jacobs era demasiado pequeño. Éstos, pensando que iba a ser más sencillo solucionar el problema de la parcela que modificar el diseño del arquitecto, terminaron cambiándola por otras dos parcelas situadas en la misma calle, pero al otro lado de 120'-0''x120'-0'' (36,50 mx36,50 m), abonando 800 \$ extra, teniendo así más espacio para la vivienda y además mejorando la orientación y las vistas con relación a la parcela original. Con este nuevo emplazamiento, Wright decide invertir el plano, de forma que la fachada opaca siguiera dando la espalda a la vía pública y la fachada del salón tuviera orientación este en vez de oeste, favoreciendo así el confort interior de la vivienda. Según narra Herbert Jacobs, tal vez el arquitecto sugirió intencionadamente la idea del cambio de parcela con la

excusa de la superficie, sabiendo que esta parcela no era la más adecuada en cuanto a orientación y vistas; nunca se atrevieron a preguntarlo:

*"Did Wright quietly plan it that way, knowing that we would eventually have to switch lots?"*⁹⁵ (Jacobs 1978)

Situación y clima

La casa Jacobs I, construida en 1937, se encuentra en la ciudad de Madison, en el estado de Wisconsin, al Norte de los Estados Unidos (Figura 77).

Figura 77. Situación Madison, Wisconsin.

Posee un clima continental húmedo, según la clasificación climática de Köpen, con unas temperaturas máximas en verano que oscilan entre 26 y 32° C y en invierno pueden descender hasta -23° C. Las precipitaciones anuales son de 800 mm, siendo más abundantes en los meses estivales (Figura 78)

Figura 78. Climograma de Madison, Wisconsin. Estados Unidos. <http://wwis.aemet.es/es/home.html> La curva en rojo representa las temperaturas medias de las máximas, y en azul las temperaturas medias de las mínimas.

Los vientos dominantes provienen del SW a NE en invierno y del SE a NW en verano, como muestran las rosas de los vientos correspondientes a los meses de enero y de julio respectivamente (Figura 79).

⁹⁵Traducción: "¿Wright lo planificó de tal forma sabiendo que terminaríamos cambiando de parcela?."

Figura 79. Rosas de los vientos de los meses de enero y julio para Madison, Wisconsin. Revit. Mapa de vientos <http://es.windfinder.com/weather-maps/superforecast/usa#8/41.640/-92.109> 19 junio 2015

Programa

En 1936, la familia Jacobs tenía una sola hija y buscaban una vivienda sencilla, de dimensiones pequeñas y de reducido presupuesto. El diseño original contaba con dos dormitorios, y un presupuesto de 5.000 \$. Finalmente, la casa fue construida con 3 habitaciones aumentando el presupuesto en 500 \$.

El programa se organiza en una única planta con un pequeño sótano que alberga la instalación de calefacción y agua caliente sanitaria. La planta baja, con una superficie de 1550 pies cuadrados (144 m²), se dispone en forma de L, albergando los diferentes usos distribuidos en dos alas. La entrada se produce a través de un espacio cubierto coincidiendo con la intersección de la "L", en continuidad con el *carport*, como denominaba Wright al aparcamiento cubierto y abierto en dos o tres de sus paredes. Siguiendo su principio de desprenderse de los elementos inútiles y con la idea de economizar tanto en presupuesto como en materiales, Wright propone este tipo de garaje para los coches de la época suficientemente resistentes para el clima de Estados Unidos. La casa Jacobs I fue la primera en la que implantó su idea de *carport* que posteriormente emplearía en casi todas sus viviendas y que ha sido el origen del garaje de la casa moderna tanto en Estados Unidos como en Europa.

La vivienda está distribuida en 3 zonas (ver Figura 80 y Tabla 9 cuadro de superficies):

- Zona vividera situada en el ala paralela a la vía pública:
 - un amplio salón de 29'-0" x 18'-0" (8,83m x 5,48m) con una gran chimenea y vistas al jardín interior.
 - El comedor de 6'-0" x 12'-0" (1.82m x 3.64m).
- Zona privada con los tres dormitorios situada en el ala perpendicular. Esta zona posee incluso un acceso independiente directamente desde del *carport* a través de un pasillo dando acceso a los dormitorios:
 - Dormitorio 1 de 10'-0" x 12'-0" (3,04m x 3,65m)

- Dormitorio 2 de 12'-0'' x 16'-0'' (3,65m x 4,87m)
- Dormitorio 3 o estudio de 8'-0'' x 12'-0'' (2,45m x 3.65m)
- Núcleo central:
 - Cocina de 7'-0'' x 8'-0'' (2.13m x 2.43 m) abierta al comedor y separada del salón a través del muro de fábrica que contiene la gran chimenea central.
 - Baño de 8'-0'' x 6'-0'' (2,13m x 1,82m)
 - Pequeño sótano de 8'-0'' x 16'-0'' (2,13m x 4,87m) para instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria, situado bajo el núcleo central al que se accede a través de unas escaleras entre el baño y la cocina. Su situación es idónea para el aprovechamiento de las instalaciones.

Figura 80. Casa Jacobs I. Planta baja. Maqueta Revit.

Programa	Dimensiones (pies)	Dimensiones (m)	Superficie (m ²)
1. SALON	29'-0" x 18'-0"	8.83 x 5.48	48.38
2. COMEDOR	6'-0" x 12'-0"	1.82 x 3.65	6.64
3. COCINA	7'-0" x 8'-0"	2.13 x 2.43	5.17
4. BAÑO	6'-0" x 8'-0"	1.82 x 2.43	4.42
5. DORMITORIO	10'-0" x 12'-0"	3.04 x 3.65	11.09
5. DORMITORIO PRAL.	12'-0" x 16'-0"	3.65 x 4.87	17.75
5. DORMITORIO EST.	8'-0" x 12'-0"	2.45 x 3.65	8.94
6. CARPORT			
7. TERRAZA			
SÓTANO	8'-0" x 16'-0"	2.45 x 4.87	11.93

Tabla 9. Casa Jacobs I. Tabla de superficies.

Análisis

Relación con la naturaleza; lugar y clima.

El emplazamiento elegido por los Jacobs se ubicaba en una zona residencial a las afueras de la ciudad de Madison. El terreno finalmente elegido fue una parcela cuadrada de 120'-0" x 120'-0" (36,57m x 36,57m) haciendo esquina, con una ligera pendiente descendente hacia el sureste.

La disposición en planta de la vivienda, en L, da la espalda a la vía pública y a la parcela colindante, con orientaciones oeste y norte respectivamente, abriéndose al jardín interior, orientaciones este y sur, protegiéndose de los vecinos y dándole privacidad a través de la vegetación planificada por Wright.

La vivienda se ubica en la esquina noroeste de la parcela construida sobre una plataforma de tierra, haciendo los retranqueos con respecto a la calle y a la parcela norte, lo más reducidos posible (Figura 81). De esta forma se manifiesta la importancia que Wright otorga al jardín privado al que se abre la vivienda gracias al diseño y a las grandes superficies acristaladas, tan características a lo largo de su obra posterior, aportando continuidad de las estancias hacia el jardín y conectando el espacio interior con la naturaleza. Esto suponía un cambio en la concepción de la vivienda, que planificaban el jardín delantero más amplio permitiendo la contemplación de la residencia que se ubicaba en la parcela de forma casi expositiva.

Figura 81. Casa Jacobs I. Posición de la vivienda dentro de la parcela. Google maps

Wright, originario del estado de Wisconsin, conocía el clima extremo al que se enfrentaba; frío en invierno y caluroso y húmedo en verano. El diseño de la vivienda está fuertemente condicionado a las características del mismo, quedando demostrado a través del tratamiento diferente que Wright otorga a las fachadas:

Las fachadas norte y oeste, además del aspecto de privacidad que quiere dar a la vivienda, son prácticamente ciegas para evitar el intercambio de temperatura en invierno (Figura 83). Sin embargo, ambas están diseñadas con una hilera horizontal de ventanas practicables para favorecer la ventilación cruzada en verano y poder refrescar la vivienda de forma natural en épocas calurosas.

Por el contrario, las fachadas sur y este están compuestas por grandes ventanales de suelo a techo (Figura 82), haciendo del jardín y la naturaleza parte de la casa, que permiten, a su vez, aprovechar la radiación del sol durante los meses frío y poder calefactar e iluminar el interior de forma natural. Incluso la fachada del dormitorio principal cuenta con grandes puertas acristaladas de acceso al jardín. Cuando Herbert Jacobs insinuó si de esta forma no estarían demasiado expuestos, Wright respondió:

"You'll be able to look out of bed at the whole garden."⁹⁶ (Jacobs 1978)

Todas las puertas del proyecto original son practicables de suelo a techo permitiendo refrescar la vivienda en verano, a través de la ventilación natural junto con las ventanas de las fachadas opuestas. Además, los tan característicos voladizos de la cubierta, protegen estas dos fachadas del sol en los meses calurosos. Hay que añadir que las ventanas de las esquinas del salón se abren completamente eliminando la esquina de esta estancia haciendo aún más patente la continuidad de la casa hacia la naturaleza, eliminando los límites visuales.

⁹⁶ Traducción: "Podréis ver todo el jardín desde la cama."

Figura 82. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit

Figura 83. Casa Jacobs I. Fachadas norte-oeste. Imagen de la maqueta de Revit.

Análisis constructivo

Una preocupación constante a lo largo de la carrera de Wright consistió en el diseño de una vivienda de calidad, sencilla y a precio moderado para la familia media americana, a lo que él denominó vivienda *usoniana*, del cual la casa Jacobs I representa el primer modelo. El arquitecto para ello buscó la sencillez constructiva a través de la estandarización y la prefabricación de elementos, reduciendo la complejidad constructiva, la mano de obra, los plazos de ejecución y los costes de la construcción, por tanto, de la vivienda. Para alcanzar esta estandarización Wright previó un módulo fijo a modo de malla constructiva, que él denominó *unit system* de forma que todos los elementos de la vivienda debían obedecer este módulo. En el caso de la casa para los Jacobs éste mide 2'-00" x 4'-0" (60,9 cm x 12,20 cm) y sus líneas están marcadas sobre la solera.

La construcción de la vivienda comienza el 2 de junio de 1937. La primera fase consistió en la excavación y ejecución del sótano con muros de hormigón armado. Las dimensiones del sótano son reducidas, lo suficiente para albergar una caldera de gasóleo de producción de agua caliente sanitaria y calefacción. Para Wright el sótano, además de ser costoso de ejecutar, representaba un espacio poco confortable, oscuro y mal ventilado, por lo que a medida que evoluciona su obra va reduciendo sus dimensiones hasta hacerlo desaparecer, como se aprecia en las viviendas *usonianas* construidas durante la década de los años 40. Tras el replanteo de la solera de la planta baja, se vertió la capa de grava sobre el terreno en la que situaron los circuitos de tuberías para el sistema de calefacción. Este sistema por suelo radiante fue pionero en Estados Unidos. Wright ya lo había planificado para el edificio administrativo de la compañía Johnsons en fase de construcción, y terminado en 1939. Para la vivienda se planificaron

una serie de circuitos cerrados, 3 para el ala de dormitorios y 4 para el ala del salón, compuestos de tuberías de hierro soldadas que transportaban en una primera época vapor de agua calentando la solera y aportando calor al interior de la vivienda. Las pruebas de funcionamiento del sistema se realizaron con éxito al final del verano de 1937, fecha en la que las tuberías fueron cubiertas por la solera de hormigón de la planta baja. La imagen siguiente muestra las pruebas del sistema de calefacción con el arquitecto supervisando junto a Herbert Jacobs. Se distinguen las tuberías, 4 circuitos para el salón y 3 para la zona de dormitorios, y el sótano con sus muros de hormigón armado excavado sobre el terreno (Figura 84).

Figura 84. Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: sistema de calefacción *Gravity Heat*. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 28). Fotografía de Katherine Jacobs.

Figura 85. Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: solera de hormigón sobre la plataforma de tierra y núcleo central de fábrica de ladrillo. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 32). Fotografía de Herbert Jacobs.

El acabado del suelo original era de hormigón lo cual resultó en un primer momento demasiado moderno a los Jacobs. Los cerramientos exteriores y las particiones interiores se construyeron siguiendo el módulo trazado sobre la solera de 4'' (10,16cm) de espesor. En las especificaciones del proyecto queda definida la importancia de la ejecución de estas líneas que debían tener una profundidad de dos tercios el espesor de la solera. Esta junta quedaba sellada con una pletina de zinc o cobre que serviría para encajar los muros de madera, tanto de fachada como de particiones interiores, y servían de líneas de referencia para la construcción de toda la vivienda en general. La solera del proyecto original había sido vertida sin color, acentuando el límite de la misma en el exterior de la vivienda, mediante una hilera de ladrillo a sardinel. Posteriormente, en otras viviendas *usonianas*, Wright incluiría en el vertido de hormigón el color que él denominó *cherokee red*, tan característico de sus edificios. En la rehabilitación de 1982 (Sturgeon y Porges 1997-98), aprovechando la rehabilitación del suelo radiante, ésta se realizó con este tinte, razón por la cual en algunas imágenes de la vivienda se muestra el color rojizo.

Figura 86 Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: núcleo central de fábrica de ladrillo en el que se aprecia la chimenea. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 32). Fotografía de Herbert Jacobs.

Figura 87 Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: estructura de madera del ala de dormitorios. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 33). Fotografía de Herbert Jacobs.

Una vez la solera fue construida con las líneas del *unity system* como replanteo, comenzó la construcción del núcleo de la vivienda mediante muros de ladrillo: la cocina incluyendo el muro con la chimenea embebida, y el baño (Figura 86). Los ladrillos empleados correspondían a los descartes realizados en la construcción del edificio administrativo de la compañía Johnson igualmente en construcción, con el objetivo de abaratar los costes de la vivienda. Muchos de ellos tienen forma curvilínea, específicos del edificio administrativo. Según narra Herbert Jacobs, existe la leyenda que los aprendices de Wright, con un exceso de entusiasmo se hicieron con un gran abastecimiento de ladrillos de la obra del edificio Johnson en tan solo 4 días:

*“The Taliesin legend later was that the apprentices, in an excel of zeal, managed to produce a whole carload of culls in just four days”*⁹⁷ (Jacobs 1978, 29).

Los muros son de 1'-0" (30,45cm) y se elevan hasta una altura máxima de 11'-0" (335cm), en la cocina y el baño. El aparejo empleado queda bien definido en las especificaciones del proyecto (Jacobs 1978); las juntas verticales son prácticamente inexistentes, sin embargo, la junta horizontal debía medir 5/8" (15 mm) y estar retranqueada 3/4" (19 mm) acentuando de esta forma la horizontalidad de la vivienda, tan característica de la obra de Wright (Jacobs 1978).

El forjado del núcleo central sobre el sótano tiene una estructura de vigas de madera que apoyan sobre el muro de hormigón. El acabado original es de linóleo (Department of Interior, National Park Service 2003).

⁹⁷ Traducción: “La leyenda de Taliesin fue que los aprendices con exceso de entusiasmo pudieron hacerse con una carga de descarte de ladrillos en sólo 4 días”

Posteriormente se edificaron los muros exteriores de madera, las particiones interiores y la estructura de cubierta. El cerramiento exterior, está construido con un sistema inventado por el arquitecto. Frente al sistema convencional de entramados de madera de aquella época, Wright ideó un sistema de panel *sandwich*, autoportante, similar al SIP, *structural insulated panel*, consistente en tableros de madera de pino colocados en vertical de 1" (2,54 cm) de espesor y anclados a la solera a través de unas llaves de acero galvanizado, cubiertos con papel Kraft y brea tanto en el interior como por el exterior, haciendo las veces de barrera de vapor, de protección contra el fuego y parásitos. El acabado final, tanto al exterior como al interior presenta la misma imagen. Unos listones de madera de secuoya colocados en horizontal cada 1'-0" (30,45cm) son atornillados al núcleo central, comenzando de abajo a arriba. Gracias a sus bordes machihembrados, hacen de soporte de los tableros de madera de pino que componen la fachada sin necesidad de anclajes suplementarios (Jacobs 1978, 29) (ver Figura 88). El espesor completo de este cerramiento no alcanzaba las 3" (7,6 cm), lo cual supone un cerramiento exterior bastante esbelto. Los propios carpinteros de la obra dudaban de la solidez de estos muros de madera. Sin embargo, una vez entendida y comprobada la viabilidad del sistema, se mostraron satisfechos. La madera, siguiendo los principios del arquitecto, mostraría su aspecto original, aplicando para su conservación y protección, en el interior una capa de cera, y al exterior una capa con aceite de linaza, ambos transparentes (Jacobs 1978, 33). Los muros de cerramiento correspondientes al ala del salón se elevaban hasta una altura de 9'-0" (274cm) con un espesor de 7,6 cm, resulta un muro demasiado esbelto y podía resultar algo inestable. Para aportar rigidez, Wright planificó una estantería corrida a lo largo de la fachada oeste, mediante tableros de madera a modo de rigidizadores. Jacobs manifestó a Wright, que ellos no necesitaban tanto espacio para libros a lo que el arquitecto respondió que de esta forma el muro quedaba más estable, y al mismo modo aportaba aislamiento térmico a la fachada.

El mismo sistema constructivo se empleó para los cerramientos exteriores y las particiones interiores del ala de los dormitorios, pero con una altura de 7'-0" (213 cm).

El sistema de *board and batten* fue evolucionando en las viviendas usonianas posteriores empleando tablero de *plywood*, como tablero central, más resistente.

Figura 88. Detalles del sistema constructivo del cerramiento de madera de las casas *usonianas*. (www.savewright.org).

Este sistema constructivo produjo gran curiosidad entre las numerosas visitas que se acercaban a la obra. Los trabajadores habían realizado una muestra del cerramiento para explicarlo. Wright había imaginado que este sistema sencillo fuera construido en la fábrica y transportado a pie de obra, reduciendo así la mano de obra, los plazos de construcción y los costes de ejecución.

En 1938 se publicó un artículo en la revista *Architectural Forum* 68 sobre la construcción de la vivienda, en la que destacaba la simplicidad constructiva y el confort, con un presupuesto tan reducido, a raíz del cual aumentaron notablemente las visitas. Entre todas ellas, Herbert Jacobs destaca la de Walter Gropius. Un día un joven arquitecto de Wisconsin se presentó en la obra sin avisar previamente, junto con el maestro alemán de la Bauhaus y uno de los máximos exponentes del Estilo Internacional, Walter Gropius. Wright, que no simpatizaba con este movimiento arquitectónico proveniente de Europa, del cual decía que era una mera copia de su arquitectura orgánica, sumado al hecho de no haber sido advertido de la visita, rehusó mostrarle la casa él mismo (Jacobs, 1978).

Según narra Herbert Jacobs (1978), la demanda de las visitas era tan numerosa, que decidieron cobrar 50 céntimos por cada una, con lo que llegaron a igualar los honorarios del arquitecto.

1._Lámina asfáltica; 2._Imprimación; 3._ Tablero de pino de 1" de espesor; 4._Tres vigas de pino superpuestas de 2"x 4"; 5._Zuncho de madera de 2" x 4"; 6._Falso techo de tablero de madera de pino de 1" de espesor; 7._Tabla de madera de 1" x 3 1/2 de sección; 8._Listón de madera de pino de 1" de espesor con protección exterior aceite de linaza, protección interior cera; 9._Papel Kraft con imprimación asfáltica; 10._Tablero central de madera de pino de 1" de espesor; 11._Listones de madera de secuoya atornillados al tablero central; 12._ Llave de acero galvanizado de soporte y anclaje de cerramiento de madera; 13._Carpintería de madera de pino; 14._Acrilamiento sencillo 4 mm; 15._Fabrica de ladrillo macizo de 1'-0" de espesor; 16._Terreno vegetal; 17._Hilera de ladrillo a sardinel como encofrado de solera; 18._Solera de hormigón de 4" de espesor; 19._Encachado de grava de 4" de espesor; 20._Tubería Gravity Heat Ø 2"; 21._ Acabado de resina; 22._Remate de acero galvanizado; 23._Imposta de madera de 2 1/2" x 7 1/2" de sección.

Figura 89. Casa Jacobs I. Detalles constructivos. Autor Juan Antonio Rodríguez Fernández.

La cubierta de la vivienda presenta tres niveles diferentes; la cubierta del ala de dormitorios y el *carport* con una altura de 7'-0" (213 cm), la del salón comedor de 9'-0" (274 cm) y la cubierta del núcleo central con una altura de 11'-0" (335 cm). Todas las alturas corresponden a la altura libre de forjado. La estructura está compuesta por 3 vigas de madera superpuestas una sobre otra de 2x4", sumando un canto total de 12" (27 cm.) de canto final, en el caso de las cubiertas de los dormitorios y del salón comedor, con una luz máxima de 20'-0" (609 cm). En el núcleo central, siendo la luz más reducida, de 8'-0" (243 cm), se emplearon dos vigas en lugar de 3, haciendo un canto más reducido. En ambos casos se respeta el módulo establecido en la vivienda, y las vigas están colocadas cada 2'-0" (60,9 cm) apoyando directamente sobre el muro de fábrica o sobre el cerramiento de madera. La forma en que estas vigas estaban unidas entre sí, no está clara. Según el *National Registre of Historic Places*, los planos de detalle parecen mostrar que sólo estaban unidos en sus extremos por otros listones de las mismas dimensiones anclados perpendiculares. En la reforma llevada a cabo en los años '80, se colocaron unos refuerzos metálicos aportando rigidez a la estructura. La diferencia de altura entre los tres niveles de cubiertas se aprovecha para colocar ventanas que permiten iluminar y ventilar los espacios interiores de la casa (Figura 90). La cubierta presenta una ligera pendiente que se consigue mediante la colocación de

unos calzos entre las vigas en la parte central para la evacuación libre de agua por los bordes de la misma, evitando así las bajantes y los canalones, suponiendo un ahorro en la ejecución de la obra y en materiales. Según el propio arquitecto, este sistema constructivo era más económico en cuanto a material, transporte y manejabilidad en la obra, al emplear 3 vigas de secciones pequeñas en lugar de una gran viga de canto. Además, permite aportar ligereza a los grandes voladizos de la vivienda, generalmente de 4'-0" (121 cm) disminuyendo el espesor a medida que aumenta su vuelo en relación a la fachada (Wright 1954) (ver Figura 89 para detalles constructivos).

Figura 90. Casa Jacobs I. Sección de la vivienda mostrando los diferentes niveles de las cubiertas. Esquema elaborado por el autor a partir de la maqueta de Revit.

La carpintería exterior, también de madera, respeta igualmente el módulo existente, estructurándose cada 2'-0" con unos pilares de 2''x 4'', coincidiendo con las vigas de cubierta. La carpintería de las fachadas este y sur, comprende toda la altura de la vivienda, es decir 7'-0" para los dormitorios y 9'-0" para las puertas del salón, todas ellas practicables al exterior, abriéndose completamente a la naturaleza. Las ventanas de esquina del salón se abren dejando la esquina libre favoreciendo la continuidad espacial entre el interior y el exterior. Sin embargo, las ventanas de las fachadas norte y oeste, con una altura de 1'-0" y dispuestas en horizontal con divisiones cada 2'- 0", están directamente en contacto con la cubierta, de forma que desde el interior se percibe visualmente el voladizo exterior, aportando la sensación de refugio que tanto buscaba Wright. Para iluminar el área del comedor, Wright diseñó una gran ventana de 5'-0" de altura (152 cm), sobre el banco corrido, que vuela con respecto a la línea de fachada. Un año después de su construcción, esta ventana comenzó a ceder y Herbert colocó unas maderas que servían de apoyo. Posteriormente Wright diseñó unas pilastras de ladrillo y una jardinera que lo disimularon.

Los vidrios originales de las ventanas, eran acristalamientos sencillos, y provenían de la reutilización de los vidrios de escaparates de locales comerciales, cuidadosamente cortados y limpiados, lo cual supuso un ahorro en el coste de ejecución (Department of Interior, National Park Service 2003).

La superficie acristalada de la vivienda suponía alrededor de 5 veces la superficie acristalada de las viviendas convencionales de la época. Para protegerlas, Wright había planificado una serie de estores traslúcidos colgados del falso techo que permitían el paso de luz natural sin permitir visibilidad desde el exterior, en lugar de las

convencionales cortinas. Sin embargo, el presupuesto para este tipo de estores estaba fuera del alcance de la familia Jacobs. Finalmente encargaron unos más económicos. La empresa *Aeroshade*, conscientes de la publicidad que aportaría su producto en esta vivienda, terminó instalando los estores prescritos por Wright a un precio inferior (Jacobs 1978, 41) (Figura 91).

Siguiendo la simplicidad constructiva y estética de la vivienda, Wright diseñó el sistema de iluminación artificial, con un presupuesto de 100 \$. Compuesto por un canal metálico de 3" (7,6 cm) de ancho y 1" (2,54 cm) de profundidad estaba anclado al entablado del techo, y albergaba el cableado eléctrico alimentando una serie de bombillas colocadas en un intervalo de 2'-0" (60,9 cm) siguiendo el *unity system*.

Figura 91. Casa Jacobs I. Interior salón mostrando los distintos cerramientos; fábrica de ladrillo, madera, la fachada acristalada y los estores. También se muestra el falso techo original y el sistema de iluminación (The Frank Lloyd Wright Foundation, Scottsdale, Arizona). Fotografía de Pedro E. Guerrero.⁹⁸

En cuanto al jardín, Wright lo planifica como continuidad espacial de la vivienda. El salón se comunica con la terraza exterior a través de la fachada este, acristalada, cuyas puertas, son todas practicables. Sumado a la continuidad de la solera, hace que se diluyan los límites entre interior y exterior. El espacio del jardín con orientaciones sur y este, queda protegido de los vientos del suroeste por los árboles, casi todos coníferas, que se plantaron para tal efecto. Igualmente, protegen el huerto que el arquitecto

⁹⁸ La imagen del interior de la vivienda fue parte de una exposición sobre el arquitecto celebrada en el museo Guggenheim de Nueva York en el año 2009.

planificó para los Jacobs con el fin de economizar (Figura 92). La idea del huerto como autoconsumo, la instauro Wright en su diseño de ciudad utópica de *Broadacre City*, en que todas las familias poseían un espacio dentro de su parcela destinado a ello.

Figura 92. Casa Jacobs I. Plano de la vivienda y el jardín (Peiffer y Futagawa 1988).

Los Jacobs se mudaron el sábado 27 de noviembre de 1937 un día templado y soleado, aun estado la casa sin acabar lo cual no ocurrió hasta después de navidad.

Los Jacobs estaban entusiasmados con la casa, pero no dejaban de preguntarse si ésta iba a resultar igual de comfortable como lo era desde el punto de vista estético.

*“But would we also find the house pleasant, convenient and comfortable”?*⁹⁹ (Jacobs 1978, 48)

Análisis bioclimático

Como se aprecia del estudio de la vivienda, el diseño y la orientación están fuertemente condicionados por las características climáticas del estado de Wisconsin, como

⁹⁹ Traducción: *“Encontraremos también la casa agradable, conveniente y comfortable.”*

demuestra el tratamiento diferente que Wright otorga a las fachadas (Figura 93 y Figura 94):

- Fachadas sur-este acristaladas y abiertas al jardín
- Fachadas norte-oeste prácticamente ciegas

Figura 93. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit (21 marzo 14:00h).

Figura 94. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit (21 marzo 14:00h).

La disposición en “L” de la vivienda presentaba numerosas ventajas:

En invierno, el ala de la zona vividera, con orientación este, se abre al jardín a través de toda su fachada acristalada aprovechando las ventajas del sol en cuanto a calefacción e iluminación naturales. Como se aprecia en el esquema de soleamiento (Figura 95), esta fachada en invierno recibe radiación solar desde el amanecer hasta las 12:00 horas. El diseño realizado por Wright, permite la entrada de radiación solar hasta el fondo de las estancias en los meses fríos en que el sol presenta menor inclinación (Figura 96). A partir de las 12:00 h, el sol ilumina de forma natural el salón a través de la ventana en esquina y a última hora de la tarde a través de las ventanas altas de la fachada oeste. Esta fachada está aislada del frío por la estantería corrida, que junto con el espacio intermedio que la separa del salón, ayuda a mantener constante la temperatura en este espacio.

En cuanto al ala de dormitorios, éstos están orientados al sur conectados al jardín a través de grandes ventanas practicables, y reciben radiación solar plena en invierno hasta las 12:00 h, momento en que el ala vividera comienza a arrojar sombra. El pasillo que comunica los dormitorios, los protege a su vez de la fachada fría norte, haciendo de espacio intermedio, a excepción del tercer dormitorio, más frío, según los propios

propietarios, ya que dispone de tres fachadas exteriores y al contrario que los otros, no tiene esas grandes superficies acristaladas.

El sistema de calefacción se componía pues del calor proporcionado por el sol, el aprovechamiento de la inercia térmica de la solera de hormigón, el sistema *Gravity Heat*, y la gran chimenea central, que juntos daban como resultado uno de los sistemas de calefacción más agradables, según palabras de la propietaria, Katherin Jacobs (1978), afirmando que el confort interior, podía alcanzarse incluso con 10 grados F menos (5,5° C) que en una vivienda convencional.

“Thanks to the comfort of floor heating, temperatures could be kept about ten degrees lower than in conventional houses.”¹⁰⁰ (Jacobs 1978, 50).

Sin embargo, en los días muy fríos de invierno, un jersey y la chimenea eran imprescindibles.

“I should point out that sweaters and a roaring fire in very cold weather were a tradeoff that we gladly paid in exchange for the year-round delight to the eye of the glass walls of living room and bedroom, and for the lower cost of a small heating system.”¹⁰¹ (Jacobs 1978, 54).

La chimenea, además de aportar el calor del fuego, aportaba calor, incluso una vez apagada gracias a la radiación de la masa térmica de los ladrillos.

¹⁰⁰ Traducción: “Gracias al confort del suelo radiante, la temperatura puede permanecer 10 grados (fahrenheit) por debajo que en una vivienda convencional.”

¹⁰¹ Traducción: Palabras de Herbert Jacobs: “Debo señalar que unos jerséis y un fuego ardiente durante los períodos fríos era un sacrificio que pagábamos encantados por la compensación durante todo el año de las paredes acristaladas del salón y del dormitorios, y por el presupuesto bajo de una pequeña instalación de calefacción.”

Figura 95. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta *sunearthtool*.

Figura 96. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.

Hay que tener en cuenta que el sistema de calefacción *Gravity Heat* que se instaló en la vivienda fue pionero en Estados Unidos y sirvió de modelo experimental para futuros proyectos. Según narra la familia Jacobs (1978), éste presentaba algunos defectos; la temperatura de retorno de los circuitos era demasiado baja, problema que se acentuaba en el dormitorio del fondo, que sólo era calefactado mediante uno de los tres circuitos con una temperatura poco adecuada. En 1940, como solución al problema, Wright propuso cambiar el sistema original de vapor de agua por agua caliente, que estaba empezando a instalar en otras casas *usonianas*, mejorando la eficiencia del conjunto. También se cambió el combustible gasóleo por carbón más económico. Es necesario señalar que ni el baño ni la cocina contaban con calefacción. Los Jacobs terminaron añadiendo un calefactor eléctrico en el baño. Existía el rumor de que la casa era tan fría que la mano se congelaba al tocar el muro de ladrillo al salir de la bañera:

“..., that the house was so cold that my hand had Frozen to the Wall when I tried to get out of the bathtub”¹⁰² (Jacobs 1978, 53).

¹⁰² Traducción: “... que la casa era tan fría que mi mano se congeló en la pared cuando intenté salir de la bañera.”

Según la experiencia de los propietarios, en los días muy fríos de invierno con temperaturas de hasta -15°C , y con fuertes vientos, éste resultaba escaso para combatir la pérdida de calor que se producía debido a la falta de aislamiento y a las grandes superficies acristaladas. Sin embargo, compensaba por la luz, la visibilidad y la continuidad con la naturaleza que proporcionaban durante todo el año.

En verano, la fachada este del ala vividera, recibe radiación solar igualmente hasta las 12:00 horas; sin embargo, el diseño de los grandes voladizos sobre las superficies acristaladas, las protegen a medida que el sol se eleva, coincidiendo con las horas más calurosas del día. En cuanto al ala de los dormitorios, se produce el mismo efecto, y durante las últimas horas del día, en que el sol disminuye el ángulo de incidencia, los voladizos y el ala del salón, la ensombrece evitando así su sobrecalentamiento (Figura 97 y Figura 98). Para mantener el interior a una temperatura agradable, todas las ventanas son practicables, de forma que, a través de la ventilación natural y la ventilación nocturna, se consigue un ambiente adecuado. También se basó en las características de los materiales; tanto la solera de hormigón como la masa de ladrillo del núcleo central se enfrían durante la noche, ayudando a refrescar el interior de la vivienda durante las primeras horas del día.

La disposición de la cocina abierta al espacio del comedor y conectada visualmente al jardín a través de la ventana corrida suponía una novedad frente a la tipología residencial de cocina cerrada de la época. Aprovechando la diferencia de niveles de las cubiertas, Wright diseña una serie de ventanas altas orientadas al sur y este que aportan iluminación natural y permiten ventilar la cocina y el baño, evitando que el aire viciado llegue al salón.

Figura 97. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta *sunearthtool*.

Figura 98. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.

Como se aprecia en la imagen (Figura 97), la vegetación diseñada por Wright, protege el jardín de los vientos fríos del sureste en invierno y aporta sombra durante los meses de verano. Igualmente actúa como barrera visual frente a la vía pública. Sin embargo, según Herbert Jacobs la elección de las grandes coníferas no fue acertada pues con el paso de los años han crecido demasiado y terminan dando excesiva sombra al jardín en los meses de invierno (Jacobs 1978).

El presupuesto definitivo de la construcción de la vivienda fue de 5.500\$ incluido el tercer dormitorio. A este presupuesto habría que añadir los tableros de madera del falso techo que fueron instalados una vez concluida la vivienda por el propio Herbert., 500\$, además de la mano de obra. Dando como presupuesto final de 6.000\$. Wright sugiere que una evolución constructiva más industrializada del modelo de viviendas *usonianas* podría obtener como resultado un presupuesto final de 3.500\$. Hay que considerar el contexto histórico; finales de los años 30, Estados Unidos estaba saliendo de la gran depresión y el modelo de vivienda que la casa Jacobs representaba suscitó gran curiosidad tanto en Estados Unidos como en otros países.

Los Jacobs residieron en esta casa hasta el 13 de noviembre de 1942, fecha en la que decidieron abandonar la vida en la ciudad para trasladarse a una zona más rural y

próxima al campo donde se harían construir una nueva vivienda, también por el famoso arquitecto, la casa Jacobs II, más conocida como Hemiciclo Solar, en 1948.

2.2. La casa Jacobs II o Hemicycle Solar

Antecedentes

La casa Jacobs II, fue construida entre 1944 y 1948 en Middleton, Wisconsin. Nace como un proyecto para la familia Jacobs, los cuales en aquel momento residían en una vivienda construida por Frank Lloyd Wright, la casa Jacobs I, edificada en 1937 y considerada la primera casa *usoniana* construida por el arquitecto.

La familia Jacobs, con el deseo de trasladarse a un entorno más natural, movidos por la voluntad de mostrar a sus hijos las ventajas y valores de residir en el campo, vuelven a recurrir a Wright para el diseño de su nueva vivienda. Lo cual se puede traducir en que la experiencia de construir y habitar una casa planificada por el arquitecto había sido favorable.

Situación y Clima

La casa Jacobs II se encuentra en Middleton, Wisconsin (Figura 99), suburbio de la ciudad de Madison.

Figura 99. Mapa de Middleton, Wisconsin, Estados Unidos. 43° 4' 25" N, 89° 32' 7" O

Al igual que Madison, se trata de un clima continental húmedo, según la clasificación climática de Köpen, característico de temperaturas elevadas en verano y con inviernos muy fríos, siendo el verano, el período más húmedo (ver Figura 78, climograma de Madison para datos de temperatura y humedad).

Los vientos dominantes provienen en invierno del NW al SE.

Programa

La vivienda consta de dos plantas; la planta baja, completamente diáfana y una superficie de 1.360 pies cuadrados (126,35 m²), alberga el salón- comedor, cocina, la escalera y un cuarto de instalaciones. La planta primera con superficie de 1.050 pies cuadrados (97,55 m²), retranqueada con respecto a la planta baja, dejando un espacio de 3'-0" (1,06 metros) entre la fachada sur de vidrio, crea una doble altura en la parte

próxima a ésta, que conecta las dos plantas, alberga cinco dormitorios y un baño. (Figura 100Figura 101).

La superficie total de la vivienda contando con la torre de piedra de instalaciones y baño es de 2.650 pies cuadrados (246,20 m²), más de 100 m² que la primera casa Jacobs. (Ver Tabla 10 de superficies) (Department of Interior, National Park Service 2003).

Planta Primera

- 4. Dormitorios ext. (2)
- 5. Dormitorios int. (2)
- 6. Dormitorio int.
- 7. Baño

Figura 100. Casa Jacobs II. Planta primera. (Storrer [1993] 2006, 292).

Planta Baja

- 1. Salón-comedor
- 2. Cocina
- 3. Cuarto de instalaciones

Figura 101. Casa Jacobs II. Planta baja (Storrer [1993] 2006, 292).

Programa	Dimensiones (pies)	Dimensiones (m)	Superficie (m²)
1. SALON-COMEDOR	54'-0'' x 17'-0''	16.45 x 5.18	85.23
2. COCINA	10'-0'' x 17'-0''	3.05x5.18	15.80
3. BAÑO/ INSTALACIONES	18'-0'' diam.	5.48 m. diam,	23.62
4.DORMITORIOS EXT.(2)	15'-0'' x 17'-0''	4.57 x 5.18	23.67
5. DORMITORIOS (2)	13'-0'' x 13'-6''	3.96 x 4.11	16.27
6. DORMITORIO	10'-0'' x 13'-6''	3.05 x 4.11	12.53

Tabla 10. Casa Jacobs II. Tabla de superficies.

Análisis

Relación con la naturaleza y el clima

La confianza plena de la familia Jacobs en Wright, se traduce en que solicitan su ayuda para elegir el terreno donde construir la casa. Al igual que con la casa de la Cascada, Frank Lloyd Wright visitó la zona y tras analizar el lugar, eligió el emplazamiento óptimo, próximo a una colina con vistas a la pradera de Wisconsin. Igualmente, lo primero que hizo fue analizar el clima. Wisconsin se encuentra al Norte de Estados Unidos y tiene un clima continental húmedo, con inviernos muy frío y veranos calurosos. En concreto, el emplazamiento elegido se caracteriza por unos fuertes vientos del norte, heladores en invierno y un sol abrasador en verano.

Tras un período de intercambio de ideas, Frank Lloyd Wright concluye con el diseño actual. En planta, un arco de circunferencia de 120° que junto con los extremos del muro y las jardineras completan el semicírculo, por lo que el arquitecto denominó la vivienda Hemiciclo, término que proviene del griego y significa *emi-* medio y *kyklos*-círculo.

Figura 102. Casa Jacobs II. Esquema en sección mostrando la protección frente al viento que representa el talud de tierra.

En el libro que el matrimonio Jacobs escribió narrando la experiencia de construir con Wright, *Building with Frank Lloyd Wright, An Illustrated Memoir*, Herbert Jacobs cuenta la anécdota que, con este diseño, Wright le aseguró que podría situarse en el jardín de su casa, protegido por la vivienda, y encender su pipa sin preocuparse del viento, creando una zona de refugio, resguardada y protegida de los vientos fríos del Norte (Figura 103). Hecho que el mismo Jacobs corrobora.

Figura 103. Casa Jacobs II. Fachada sur. Imagen tomada a mitad de noviembre (Jacobs 1978, 114) Fotografía de Erza Stoller.

Figura 104 . Esquema en planta Hemiciclo solar.

La forma semicircular del diseño además de canalizar los vientos y de crear protección a la fachada y al jardín sur (Figura 104) presenta numerosas ventajas:

- Minimiza la superficie de exposición al clima frío del norte reduciendo la pérdida de calor de la vivienda en invierno.
- Como se aprecia en los esquemas de soleamiento que se muestran más adelante (Figura 111yFigura 113), en invierno, cuando el sol incide con menor inclinación, la fachada sur acristalada recibe soleamiento durante las horas del día, de 9:00 a 18:30 horas, aportando calor y luz natural.
- Mientras que, en verano, en el momento del día en que el sol está más bajo, desde el amanecer hasta mediodía y desde las 17:00 hasta el anochecer, gracias a la forma semicircular de la vivienda, se impide la radiación solar sobre la fachada sur, evitando el sobrecalentamiento de la vivienda. Las horas del día en que el sol incide con mayor inclinación, hasta 70° a las 14:00 horas, en el solsticio de verano, la fachada sur queda protegida por el voladizo de cubierta.

Análisis Constructivo

Para la construcción de la vivienda, Frank Lloyd Wright se sirve de materiales naturales, como son la piedra y la madera. Para la cimentación y solera de la planta baja, utiliza el hormigón armado.

Las fachadas norte, este y oeste, que conforman la parte del semicírculo convexo, están protegidas por un talud de tierra que procede de la excavación tanto de la vivienda como del jardín situado al sur. Este talud alcanza la altura de las ventanas situadas en los dormitorios de la planta primera, cubriendo prácticamente toda la altura del muro de la

vivienda. Este muro curvo, está compuesto por una doble fachada de piedra caliza atada entre sí con llaves metálicas colocadas a cierta distancia (Figura 105). La piedra caliza empleada proviene de una cantera situada en las proximidades. Según información encontrada en el libro escrito por el matrimonio Jacobs, un material aislante, sin especificar cuál, fue vertido en el espacio que quedaba entre las dos hojas del muro. El gran espesor del muro, 90 cm, sumado al talud de tierra que lo protege, aportan un gran aislamiento a la vivienda, y gran inercia térmica al conjunto del edificio, creando una gran estabilidad térmica interior.

Figura 105. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Muro de piedra caliza compuesto por dos hojas atadas con llaves metálicas (Jacobs 1978, 99). Fotografías de Jack Steinberg.

Figura 106. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Muro completado y construcción de la solera de planta baja con tuberías embebidas en la misma para el sistema de calefacción *Gravity Heat* (Jacobs 1978,106). Fotografías de Jack Steinberg.

La estructura vertical de la vivienda está compuesta por este muro de piedra y unos pilares de madera en la parte sur que forman la fachada acristalada (Figura 107). La estructura de cubierta está compuesta por unas vigas de madera de 2'' x 6'' (5.05 x 15.24 cm) que apoyan sobre muro portante a través de unos pequeños pilares que conforman la ventana corrida de los dormitorios y en los pilares de la fachada sur, volando sobre ésta aproximadamente 6'-0'' (1.82 m), formando el voladizo de cubierta. La estructura de la planta primera, también de madera, retranqueada respecto a la planta baja, cuelga de la de la cubierta mediante unos cables de acero que quedan embebidos

en las divisiones de los dormitorios (Figura 108). De esta forma, Wright logra la planta baja completamente diáfana.

La madera empleada para la estructura de la vivienda proviene de los bosques de Wisconsin.

Figura 107. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Estructura del muro norte y la estructura de madera de cubierta (Jacobs 1978, 107). Fotografías de Jack Steinberg.

Figura 108. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Estructura del muro norte y la estructura de madera de cubierta (Jacobs 1978, 107). Fotografías de Jack Steinberg.

Análisis Bioclimático

La fachada sur, correspondiente a la parte cóncava del semicírculo, se encuentra completamente acristalada con una fachada de vidrio de 14'-0" (4,26 metros) de altura orientada y abierta al jardín circular. El proyecto original se construyó con un acristalamiento sencillo. En los años ochenta, la casa experimentó una reforma en la que se llevó a cabo la sustitución de los acristalamientos sencillos por dobles.

De todas formas, Wright era consciente de la pérdida de calor y el aumento de consumo de combustible, que suponían las grandes superficies acristaladas que diseñaba y estaba a favor del empleo de acristalamientos dobles para minimizarlos.

"It's true however that no man can have the liberation one of these houses affords with liberal outside views on three sides becoming a part of the interior, without incurring extra fuel-say twenty percent more."

Double windows cut this down-but also cost money”¹⁰³. (Wright 1954, 97-98)

Las dos imágenes que se presentan a continuación (Figura 109 y Figura 110), muestran el claro contraste entre las dos fachadas:

- La fachada norte, completamente cerrada, enterrada, creando privacidad y protegiendo la vivienda del clima.
- La fachada sur, completamente acristalada, abierta al jardín y al sol en invierno, y protegida con el voladizo de cubierta en verano.

La cubierta plana que sobresale formando el gran voladizo sobre la fachada sur, es plana con una ligera inclinación, vertiendo directamente el agua de lluvia sobre el talud, aprovechando el agua para irrigación del jardín.

Figura 109. Casa Jacobs II. Imagen de la fachada norte, con el talud que entierra parte del muro de piedra dejando las ventanas de los dormitorios de la planta primera (Jacobs 1978, 115). Fotografías de Erza Stoller.

Figura 110. Casa Jacobs II. Imagen de la fachada sur abierta a través de la gran cristalera al jardín (Jacobs 1978, 86). Fotografías de Erza Stoller.

¹⁰³ Traducción, sobre las casas usonianas: “Es cierto, sin embargo, que ningún hombre puede tener la liberación de una de estas casas permitirse con unas vistas al exterior que se convierten en interior en tres de las fachadas, sin incurrir en un gasto extra de fuel- un veinte por ciento más. Ventanas dobles lo reducirían, pero también cuestan dinero.”

Frank Lloyd Wright utiliza las propiedades físicas de los materiales empleados en la construcción de sus viviendas para acondicionar de forma pasiva el ambiente interior, siendo una característica común de sus diseños.

La fachada norte prácticamente enterrada y compuesta por el gran muro de piedra, aportan a la vivienda aislamiento y estabilidad térmica tanto en los meses fríos de invierno como en los calurosos de verano.

La fachada sur, con prácticamente toda su superficie acristalada permite la entrada de radiación solar. En invierno, cuando los rayos del sol inciden con menor inclinación, el retranqueo de la planta primera con respecto a la planta baja permite la entrada de sol hasta el fondo de la vivienda, calentando ésta de forma natural por el efecto invernadero (Figura 112). Wright se sirve también de la capacidad de almacenamiento de calor de la solera de hormigón de la planta baja y del muro de piedra que reciben radiación del sol durante las horas del día en invierno y la emiten en forma de calor durante la noche.

Además de la calefacción natural, la vivienda contaba con una gran chimenea central y calefacción por suelo radiante, el sistema *Gravity Heat* (ver Figura 106), similar al instalado en la casa Jacobs I. Un sistema de tuberías por el que circula agua caliente se encuentra embebido en el encachado de la solera de la planta baja, emitiendo calor a través del suelo. El agua era calentada a través de una caldera que se alimentaba de un depósito de gasóleo enterrado en el talud norte.

Cabe añadir que como en la mayoría de las viviendas wrightianas, una gran chimenea se ubica en el centro de la vivienda en la planta baja. La planta primera no consta de un sistema de calefacción propio, pero al estar las dos plantas comunicadas por el espacio de doble altura del salón, el calor de la planta baja, por gravedad, es desplazado por el aire frío de la planta primera, creando un flujo de aire frío que desciende de la planta primera a la planta baja por el hueco de la escalera y desplaza el aire caliente hacia la planta primera a través de la doble altura.

Según sus propietarios, en los días fríos y soleados de invierno, no es necesario encender la calefacción, gracias a las estrategias pasivas diseñadas por Wright (Jacobs 1978).

En verano, el gran voladizo de la cubierta, protege la fachada sur de la radiación del sol, permaneciendo ésta en sombra (Figura 114).

El acristalamiento está dividido verticalmente en dos partes; una fija, superior, y otra inferior practicable, a modo de puertas que permiten el acceso directo al jardín. Estas aperturas, junto con las ventanas practicables de la fachada norte de los dormitorios, de 2'-0" de altura (60,9 centímetros), favorecen la ventilación natural cruzada de la casa creando un flujo de aire, que permite la renovación de aire del interior y refrescando la vivienda en verano mediante la ventilación nocturna.

Figura 111. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta *sunearthtool*.

Figura 112. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.

Figura 113. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta *sunearthtool*.

Figura 114. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en sección elaborado por el autor.

Hay que destacar que además de las ventajas térmicas que aporta la fachada acristalada ésta crea un ambiente de iluminación natural en el interior de la vivienda. El retranqueo de la planta primera, permite que el fondo de la vivienda también reciba luz natural. En los dormitorios de la planta primera orientados al norte, la ventana alta corrida, proporciona una luz natural uniforme. Por lo que la iluminación artificial se hace sólo necesaria cuando el sol se pone.

Espacios exteriores

La entrada a la vivienda se produce de forma transicional, a través de la fachada norte, en contacto con la vía pública, mediante un túnel excavado en el talud que comunica directamente con el jardín protegido (Figura 115 y Figura 116). El acceso propiamente dicho, se realiza a través de una de las puertas de la fachada sur acristalada directamente al espacio diáfano de planta baja. La puerta de entrada queda, de este modo, protegida de los vientos fríos del norte en invierno, evitando su entrada a la vivienda.

Figura 115. Casa Jacobs II. Imagen del túnel de acceso directo al jardín sur, fotografía después de su construcción. (Jacobs 1978, 95). Fotografía de Erza Stoller.

Figura 116. Casa Jacobs II. Plano de Planta baja mostrando el acceso a través del túnel.

En cuanto a la calidad espacial de la vivienda y satisfacción de los usuarios, son decisivas las vivencias narradas por sus propietarios:

El matrimonio Jacobs remata el libro en el que describen la experiencia de construir con Frank Lloyd Wright con la siguiente frase:

*"And if we could break more architectural barriers with Frank Lloyd Wright, we would do it again."*¹⁰⁴ (Jacobs 1978).

La propietaria actual, Betty Moore, afirma que les llevó un año el acostumbrarse a la completa experiencia del diseño de la vivienda, así como entender la relación intrínseca con la naturaleza, el movimiento del sol en las diferentes estaciones del año, añadiendo que la fascinación por habitarla nunca se desvanece. (Betty Moore 2008)

*"It has not lost its fascination for us. It took us at least a year to get the full experience of its unique design, its relation to the outdoors, the movement of the sun and its penetration of the house in different seasons. The fascination never pales."*¹⁰⁵ (Betty Moore 2008 Citado en <http://www.pdhonline.com/courses/c683/c683slideshow.pdf>)

La satisfacción de los usuarios puede estar relacionada con la belleza de la casa, con el confort térmico, que la hacen agradable para vivirla, pero también se encuentra íntimamente relacionada con la relación que Wright establece en sus diseños entre el usuario y la naturaleza.

Para Frank Lloyd Wright, esta relación es primordial. Una característica común de sus diseños son las grandes superficies acristaladas, por las ventajas que éstas proporcionan en cuanto confort térmico se refiere, como se ha descrito anteriormente, y puesto que permite la relación visual directa del usuario con el entorno, el paisaje en el que se

¹⁰⁴ Traducción: "Y si pudiéramos romper más barreras arquitectónicas con Frank Lloyd Wright, lo haríamos otra vez"

¹⁰⁵ Traducción: "No ha perdido la fascinación para nosotros. Tardamos un año en obtener toda la experiencia de este diseño único, su relación con el entorno, el movimiento del sol y cómo entra en el interior de la vivienda en función de las estaciones del año. La fascinación nunca se desvanece."

encuentra inmersa la casa. La planta semicircular y la gran fachada acristalada abierta a las praderas de Wisconsin, hacen que quien se encuentre en cualquier punto en el interior de la vivienda perciba la naturaleza en todo su esplendor.

El jardín, con su vegetación y topografía, además de ser un elemento de transición entre la vivienda y naturaleza, representa una estrategia térmica pasiva. Wright planificó la vegetación del jardín sur, de forma que ésta actuara como protección natural contra los vientos dominantes, creando un espacio resguardado y agradable para los usuarios de la vivienda (Figura 117 y Figura 118).

Figura 117. Casa Jacobs II. Imagen tomada después de su construcción hacia 1950. Fotografía de Donald Aitken,

Figura 118. Casa Jacobs II. Vista aérea donde se aprecia la vegetación diseñada por Wright de protección de la vivienda y del jardín. Fotografía de Google maps.

El jardín se encuentra excavado en el terreno aproximadamente 1,5 m por debajo del nivel de suelo de la planta baja. La diferencia de nivel del jardín con respecto al entorno, genera un espacio de aire protegido de las corrientes de aire, haciendo de este espacio habitable incluso en los meses fríos de invierno.

2.3. Conclusiones

Con lo anteriormente expuesto queda de manifiesto que las dos viviendas para la familia Jacobs representan un claro ejemplo de arquitectura bioclimática, tal y como se entiende en la actualidad. Su diseño está fuertemente condicionado por el clima, y el entorno en el que se encuentra, sirviéndose de sus características para crear un ambiente interior más confortable para los usuarios, siendo éste el objetivo primero de su arquitectura.

Para la fase de experimentación, para evaluar y cuantificar cómo las estrategias bioclimáticas empleadas por el arquitecto en sus viviendas influyen sobre el confort térmico interior, se ha seleccionado la casa Jacobs I por las siguientes razones:

1. Se trata de una residencia de tamaño medio. El programa de 3 dormitorios, salón-comedor, cocina contigua, y un baño, responde a un programa y a unas dimensiones que representan un modelo de vivienda unifamiliar, con una superficie total construida de 1550 pies cuadrados (144 m²). (National register of historic places)
2. De todas las viviendas analizadas es la que mejor responde al modelo de vivienda *usoniana* de presupuesto moderado, para la familia media americana. Con un presupuesto final de 5.500\$, la vivienda carece de todo aquello que no es imprescindible, pero mantiene la calidad espacial de las obras de Wright, por los materiales empleados, el tratamiento de la luz, y, a priori, favorece el confort interior a través de su arquitectura.
3. A través de la utilización de materiales sencillos y accesibles, la madera y el ladrillo, y los sistemas constructivos empleados, hacen de la vivienda un modelo tipo. La vivienda Jacobs II, bien por su planta semicircular, por su tipología constructiva y la inserción en el terreno tan particular, hacen de la vivienda un modelo específico.
4. Supone un buen ejemplo de recuperación y reutilización de materiales, como los vidrios y la fábrica de ladrillo, con la intención de reducir el presupuesto de la obra, pero también como un acto de sentido común.
5. La familia Jacobs, a través de su libro *Building with Frank Lloyd Wright*, aporta numerosos datos sobre las dos viviendas, que facilitan la comprensión de las mismas. Datos de tipo constructivo, que han servido para la realización de la maqueta digital. Igualmente, aportan detalles, a priori subjetivos, sobre su comportamiento y el funcionamiento de la vivienda, que han ayudado a la toma de decisiones para la programación de la vivienda a la hora de realizar las diferentes simulaciones. El comportamiento de los usuarios en relación al confort térmico interior va a ser un factor a tener en cuenta, como se demuestra en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV. Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la tipología residencial unifamiliar. Análisis de la casa Jacobs I.

En el capítulo anterior se han estudiado las diferentes tipologías constructivas residenciales de Wright. Este análisis ha obtenido como modelo representativo de su obra residencial la primera vivienda que diseñó para la familia Jacobs, la casa Jacobs I, por sus características medioambientales y por representar un modelo tipo.

Los testimonios de los propietarios y el análisis constructivo y bioclimático realizado, aportan resultados positivos sobre el comportamiento y el confort térmico interior de la vivienda, que sin embargo deben ser considerados como resultados subjetivos. Para analizar de forma empírica si efectivamente se trata de un edificio en que las estrategias empleadas tienen un efecto positivo sobre el confort térmico interior, es necesario la realización de medidas que lo demuestren.

Puesto que la vivienda fue rehabilitada en los años '80, el análisis in-situ no aportaría datos sobre la vivienda original, tal y como fue diseñada y construida en 1937. Por ello, se ha optado por la simulación digital. Se ha realizado una maqueta digital del estado original de la vivienda y se ha comprobado su comportamiento térmico, tomando como referencia datos de temperatura operativa, comparando con diferentes escenarios. La comparación de los resultados permite cuantificar la influencia de las estrategias bioclimáticas implementadas por el arquitecto en la casa Jacobs I, entendida como modelo representativo de su arquitectura residencial.

1. Modelo digital

Para poder comprobarlo de forma empírica, se ha optado por la modelización y simulación energética, (Schiler y Brahmabhatt 2006, Douglass 2010), empleando los programas *Revit* para el modelo y *Design Builder*, que utiliza el motor de simulación de Energy Plus. (Sabol 2008, Geva 2012, Crawley, Drury, et al. 2008).

Ambos programas toman los datos del emplazamiento exacto de la vivienda, 43° 3' 31" N, 89° 26' 29" W. Para los datos climáticos, los dos permiten seleccionar archivos climáticos procedentes de estaciones meteorológicas próximas a la vivienda.

A continuación, se presentan a modo descriptivo los diferentes datos de localización y climáticos tomados en cuenta por los programas (Figura 119, Figura 120 y Figura 121).

Figura 119. *Design Builder*. Ubicación de la vivienda a través de sus coordenadas.

Figura 120. *Revit*. Rosa de los vientos anual de la localización de las coordenadas de la vivienda.

Figura 121 *Revit*. Datos climáticos proporcionados por el programa: rosa de los vientos y datos de temperatura y humedad.

Revit

Primero se ha empleado el programa *Revit* para hacer una maqueta digital. La maqueta se ha construido fiel al diseño de Wright, introduciendo los datos de los materiales y sistemas constructivos analizados en el estudio de la vivienda, incluyendo el pequeño sótano para las instalaciones de agua caliente sanitaria y de suelo radiante, *gravity heat*. El modelo ha servido para realizar los primeros análisis energéticos, identificar los puntos débiles de la construcción, pero al mismo tiempo para comprender la vivienda, en su estructura y construcción y en su aspecto espacial.

A continuación, se muestran una serie de imágenes realizadas a partir del modelo mostrando la vivienda, tanto el exterior como los espacios interiores.

Figura 122. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Fachadas sur-este.

Figura 123. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Fachadas norte-oeste.

Figura 124. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Acceso a la vivienda a través del *carport*.

Figura 125. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vista de la fachada sur-oeste.

Figura 126. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vista de la cubierta de la vivienda, estructura de vigas de madera.

Figura 127. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vista de la cubierta de la vivienda, estructura de vigas de madera.

Figura 128. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Secciones por el núcleo central- cocina.

Figura 129. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Secciones por el núcleo central- cocina.

Figura 130. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Secciones por el núcleo central- baño.

Figura 131. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vistas de la fachada sur desde la terraza.

Figura 132. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vistas de la fachada sur desde el interior del salón.

Figura 133. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vistas del interior; comedor y salón.

Figura 134. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Vistas del interior dormitorio y jardín.

El programa *Revit* posee una herramienta específica de análisis energético. El modelo energético conserva las características constructivas de la vivienda para hacer las simulaciones energéticas (Figura 135). Sin embargo, para la simulación no se ha tenido en cuenta el efecto de la chimenea en invierno ni la ventilación natural en verano. Además, el programa ha considerado un sistema de climatización mecánico, que se traduce en el aumento de consumo de energía en verano debido a la carga de refrigeración.

Figura 135. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Imagen del modelo energético.

Los datos que se han obtenido en un primer análisis hacen referencia a cargas de calefacción y refrigeración y a consumos energéticos, a través de una serie de gráficos que se muestran a continuación (Gráficos 3). Es interesante ver cómo la cubierta *roofs* supone la mayor carga de calefacción en invierno y la mayor carga de refrigeración en verano. Se puede concluir claramente que la parte más débil de la vivienda es la

cubierta. Al no tener aislamiento alguno, en invierno, el aire caliente que tiende a ascender, se escapa a través de la cubierta al exterior. Y en verano, puesto que la cubierta recibe radiación solar durante todas las horas del día y sumado al efecto negativo del color oscuro de la membrana impermeabilizante asfáltica, el hecho de no tener aislamiento favorece el sobrecalentamiento del aire en el interior. Es necesario añadir, que Wright diseñó la cubierta ventilada. El espacio que queda entre las vigas de madera, de 1'-0" (30,48 cm) de canto, permitía la renovación del aire caliente acumulado en el interior cuando los tableros del voladizo se abrían. Sin embargo, no se han encontrado documentos que prueben que esto se llevara a cabo en los meses de verano. Se trataba de una acción manual que debería realizarse a principios de verano y volver a colocar los tableros al final del mismo. Wright experimentó en numerosas ocasiones la cubierta ventilada para evitar el sobrecalentamiento del aire del interior como se ha visto en el estudio de la casa Frederick C. Robie, 1909, Chicago, Illinois (Estados Unidos).

Otra parte negativa de la vivienda en invierno es la solera, y la ausencia de aislamiento; sin embargo, en verano, el frescor del terreno, es absorbido por la solera de hormigón proporcionando un efecto positivo sobre las cargas de refrigeración. También en este gráfico se observa el aporte solar mensual como carga de calefacción positiva, en los meses de invierno y en los de verano se reduce incluso a 0 en el mes de junio.

Carga de calefacción mensual

Carga de refrigeración mensual

Gráficos 3. *Revit*. Datos de cargas de calefacción y refrigeración mensuales.

Siendo una vivienda construida en 1937, y como se ha descrito en el análisis anterior, sin aislamiento, es lógico suponer que, para alcanzar el confort interior en los meses fríos de invierno y durante el verano, con un clima continental húmedo, los consumos energéticos van a ser elevados en relación a los consumos de una vivienda actual de características similares.

En el gráfico de consumo de combustible (Gráficos 4), se aprecia el consumo debido a la calefacción por suelo radiante durante los meses de invierno. Durante los meses de verano se observa un consumo bajo, que teóricamente debería ser 0. El programa ha calculado una carga de calefacción debido a la falta de aislamiento de la solera *underground surroundings* y de la cubierta *roofs*, y sin embargo ha calculado una carga negativa por refrigeración debido a la solera. Lo cual no resulta coherente a la hora de hacer el análisis global.

Consumo de combustible mensual

Consumo de electricidad mensual

Demanda máxima mensual

Gráficos 4. Casa Jacobs II. *Revit*. Gráficos de consumos energéticos y demanda energética mensual.

Las simulaciones con *Revit* han aportado datos de cargas de calefacción y de refrigeración y de consumos que, a priori, son interesantes para hacer una primera evaluación global del comportamiento de la vivienda. No se consideran suficientes para poder demostrar la hipótesis planteada, cuantificar la influencia de las medidas bioclimáticas empleadas por Wright en la vivienda Jacobs I, que representa un modelo de vivienda *usoniana* de las que Wright diseñó más de 100 unidades, y cuyos principios van a ser evaluados.

Con este objetivo se considera que la simulación con el programa *Design Builder* aporta datos más útiles, como datos de temperatura operativa. Estos resultados van a permitir

valorar la influencia del diseño de Wright sobre la temperatura, por ejemplo, cómo la presencia y diseño de los voladizos reduce la temperatura interior en verano, y cuánto.

Design Builder

El programa *Revit* tiene la opción de exportar directamente la maqueta realizada al programa *Design Builder* como un archivo .ifc o gbXM. Sin embargo, esta exportación ha ocasionado numerosos problemas; el modelo resultante en *Design Builder* no respeta los materiales o las características ya introducidas en *Revit*, problemas en los encuentros entre elementos de construcción, ocasionando huecos inexistentes, o la aparición de nuevas ventanas no diseñadas en el modelo *Revit*, entre otros. Estos problemas se reflejan en las imágenes que se presentan (Figura 136y Figura 137).

Figura 136. Casa Jacobs I. Maqueta exportada a *Design Builder* a partir de *Revit*. Se muestran los diferentes problemas planteados: los huecos en la unión de los diferentes materiales y el carácter del voladizo.

Figura 137. Casa Jacobs I. Maqueta exportada a *Design Builder* a partir de *Revit*. Se muestran los huecos en la unión de los diferentes materiales.

En la primera imagen se aprecia cómo la cubierta y los voladizos tienen el mismo comportamiento y características, frente al segundo ejemplo en que la cubierta, como envolvente de la vivienda es tratada de forma diferente a los voladizos, o la cubierta del garaje, que es considerada exterior.

Después de numerosos intentos y pruebas, se ha optado por realizar un nuevo modelo directamente con el programa *Design Builder*.

Al igual que *Revit*, *Design Builder* toma los datos del emplazamiento exacto de la vivienda, y permite elegir la estación meteorológica próxima a la vivienda. Todos los datos climáticos son explotables y exportables y se han tenido en cuenta a la hora de realizar las simulaciones (Figura 138 y Figura 139).

Figura 138. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Situación de la vivienda y datos de la estación climatológica de toma de datos.

Figura 139. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Grafica con los datos climáticos externos proporcionados por el programa: temperatura exterior, velocidad del aire ...

El programa tiene en cuenta los datos de dirección de los vientos dominantes para realizar las simulaciones (Figura 140). Frank Lloyd Wright diseñó la vivienda en función de la dirección de los vientos dominantes. Lo cual se va a demostrar y a cuantificar a través del análisis de la influencia de la orientación y la ventilación natural.

Figura 140. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Dirección de los vientos dominantes invierno y verano en planta.

La maqueta creada es fiel al diseño de Wright. Las características constructivas definidas en el análisis previo han sido introducidas en el programa *Design Builder*, aportando numerosos parámetros relevantes, como el valor de transmitancia térmica U de la envolvente. Como se ha mostrado en el capítulo anterior, la vivienda, construida en 1937, no posee aislamiento y los puentes térmicos, consecuencia del sistema constructivo empleado y del diseño del arquitecto son importantes (Figura 89 y Figura 141 de detalles constructivos).

Es necesario añadir las limitaciones de la investigación histórica en cuanto a la construcción de la vivienda. Los datos introducidos en la maqueta se basan en la información escrita y gráfica recopilada en relación a la vivienda. Se desconocen datos sobre las características concretas de los materiales que se emplearon para su construcción; las características concretas del ladrillo, o la densidad de la madera del cerramiento tipo *board and batten*, que aportarían un dato de transmitancia térmica U más exacto. Sin embargo, este estudio se enfoca en analizar la influencia de las estrategias empleadas por Wright sobre el confort térmico interior y el valor de transmitancia U se va a emplear sabiendo las limitaciones que implica el contexto histórico de la vivienda.

La siguiente tabla (Tabla 11) muestra los valores aportados por el programa, U_1 ; los resultantes del cálculo de los coeficientes de la envolvente, U_2 (CTE 2016); y los valores máximos establecidos por el Código Técnico de la Edificación, U_3 (CTE 2016), a modo de referencia, comprobando que los valores de la vivienda superan los máximos permitidos. Sin embargo, como se demuestra en el análisis que se presenta, a pesar de estas características, gracias a las estrategias bioclimáticas empleadas en el diseño de la vivienda, como la orientación y la ventilación natural, el diseño de los voladizos y el aprovechamiento de la inercia térmica de los materiales, Wright lograba una mejora considerable en cuanto a temperatura interior.

Los valores de transmitancia térmica U_1 están calculados por *Design Builder* empleando una base de datos con características actuales de los materiales; al igual que el cálculo realizado para el cálculo analítico de la transmitancia térmica U_2 siguiendo el modelo de cálculo del Código Técnico de la Edificación. Probablemente estos datos no corresponden exactamente con los datos de los materiales originales empleados en la

construcción de la vivienda hace 80 años. El presente estudio de investigación es consciente de las limitaciones que supone no contar con estos datos precisos para el análisis, sin embargo, como se ha expuesto en el párrafo anterior, el análisis se basa en analizar las diferencias relativas a las decisiones de proyecto tomadas por el arquitecto en las viviendas *usonianas* y el valor de transmitancia térmica U se toma de forma orientativa aportando una idea aproximada del tipo de envolvente térmica que posee la vivienda permitiendo comparar estos datos con la reglamentación actual.

	Materiales	Espesor	U ₁ (W/m ² K)	U ₂ (W/m ² K)	U ₃ (W/m ² K)
Fachada tipo 1	1 pie de ladrillo	1'-0" (30 cm)	1,68	1,91	0,60
Fachada tipo 2	tablero - rastrel	3" (7,5 cm)	1,38	1,64	0,60
Cubierta	Estructura de madera	1'-0" (30 cm)	0,90	1,68	0,40
Solera	Solera hormigón + Grava	4" + 4" (20 cm)	1,56	1,10	0,60
Ventanas	Acristalamiento sencillo	4 mm	5,77	5.7	2,70

Tabla 11. Casa Jacobs I. Valores de Transmitancia Térmica U (W/m²K). U₁, datos de *Design Builder*. U₂, datos del cálculo analítico. U₃, valores máximos según CTE (zona climática D).

En cuanto a las instalaciones y confort térmico, como se ha expuesto en el análisis previo, en verano la vivienda original se sirve de la ventilación natural cruzada y nocturna para la disipación del calor interior, favorecida por la orientación y disposición de las ventanas.

Figura 141. Casa Jacobs I. Sección tipo por el salón.

La separación de las fachadas opuestas es de 18'-0" (548 cm) tanto en el salón como en los dormitorios. La superficie de huecos de las fachadas este y sur, con ventanas de suelo a techo todas practicables, es de 72% y 48% respectivamente. Mientras que las fachadas oeste y norte con un 10% y 5% presentan una línea horizontal de ventanas practicables a una altura de 8'-0" (240 cm) y 6'-0" (182 cm).

Un dato que no va a influir sobre la temperatura interior pero sí sobre el confort térmico es el índice de vestimenta (clo). Para el programa se ha introducido un valor de clo de 1.30 para la simulación de invierno y de 0.57 para los meses de verano. Se va a analizar cómo con la variación del índice de vestimenta, sin introducir cambios en la temperatura interior, se alcanza el confort térmico.

2. Datos de partida

En este punto se van a describir los datos que se han introducido en la maqueta para realizar las diferentes simulaciones.

Un primer punto a señalar es la siguiente consideración que el autor ha realizado sobre el modelo que difiere de la vivienda original. Para simplificar la maqueta, se ha optado por eliminar el sótano. Para simular el efecto de este sótano sobre la vivienda en términos de comportamiento térmico, se ha considerado la solera de la parte correspondiente al sótano con un aislamiento térmico de 4 cm de poliestireno extruido, obteniendo un valor de transmitancia térmica U de $0.57 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Para introducir el efecto de la ventilación natural sobre el comportamiento térmico de la vivienda en verano, se han establecido los siguientes criterios:

- Las ventanas son abiertas por los usuarios cuando la temperatura interior de la vivienda supera los 24°C ,
- permanecen abiertas durante la noche en los meses de junio, julio y agosto en un 50% en el salón y dormitorios y un 100% en la cocina y baño.
- Durante el día, de 10:00 a 16:00h, cuando las temperaturas exteriores son más elevadas, las ventanas permanecen cerradas evitando el sobrecalentamiento interior, y
- a partir de las 16:00 se abren al 100%.

Se ha considerado fundamental la acción de los usuarios para controlar y lograr el confort térmico interior.

En invierno, lógicamente, la ventilación natural no se ha considerado, puesto que tendría un efecto negativo sobre el confort interior térmico.

En cuanto a la calefacción, para la simulación invernal se ha considerado los siguientes datos de partida:

Calefacción por suelo radiante *gravity heat*. Se ha definiendo una temperatura de consigna de 20°C , dentro de los límites establecidos por el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios, RITE (RITE 2007), y 2°C superior a lo establecido por el propio Wright, que consideraba una temperatura de confort de 65°F (18.33°C) (Wright 1954, 99-100). Las simulaciones realizadas muestran que, con esta consigna, la temperatura interior máxima no llega a alcanzar 19°C , por lo que se ha establecido que, durante la semana extrema de invierno con temperaturas exteriores entre -1.22 y -23.87°C , la calefacción por suelo radiante permanece encendida las 24 horas del día.

Figura 144. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Distribución de temperaturas en el salón. Simulación chimenea y masa de ladrillo. Plano de corte horizontal.

Figura 145. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Distribución de temperaturas en el salón. Simulación chimenea y masa de ladrillo. Plano de corte vertical y paralelo a la fachada.

Como se ha expuesto en el análisis previo realizado, la vegetación fue diseñada para proteger la vivienda y el jardín de los vientos fríos en invierno y para aportar sombra sobre el jardín en los meses estivales. Este estudio es consciente de la ventaja del diseño de la vegetación que podría aportar sobre el confort térmico interior de la vivienda. Sin embargo, no ha sido realizada ninguna simulación para comprobar empíricamente la influencia positiva que la vegetación podría producir sobre la temperatura interior.

3. Análisis de la influencia de las estrategias empleadas bioclimáticas empleadas. Descripción y análisis de los parámetros estudiados

Para poder evaluar y cuantificar la influencia de los elementos de diseño bioclimáticos identificados en el capítulo anterior sobre el confort interior de la vivienda, se ha optado por analizar de forma aislada cada uno de estos elementos. Se han realizado simulaciones de la vivienda en diferentes escenarios teniendo en cuenta los resultados de temperatura operativa durante las semanas extremas del año. El programa ha considerado los datos de invierno del 11-17 de enero, y en verano del 3-9 de julio. La comparación de estos resultados con los datos de la simulación de la vivienda en su estado original va a permitir valorar y cuantificar la influencia de las estrategias pasivas de diseño bioclimático empleadas por Wright.

3.1. Orientación y Ventilación natural

El análisis realizado en el capítulo anterior muestra cómo la orientación elegida presenta teóricamente ventajas sobre el confort interior, tanto en verano como en invierno. Para comprobarlo se han llevado a cabo simulaciones con 8 orientaciones diferentes (Figura 146), partiendo de la original (0°) y girando la vivienda 45° hasta alcanzar de nuevo la posición inicial.

Figura 146. Casa Jacobs I. Esquemas con las diferentes orientaciones analizadas.

Verano

La variable de la orientación influye sobre la temperatura interior en verano a través de dos factores; radiación solar y ventilación natural. Para cuantificar conjuntamente el efecto de la ventilación natural se han realizado las simulaciones de las orientaciones con y sin ventilación natural.

En este estudio se representan los resultados más característicos, comparando la orientación original con la 45° y 270° (ver Tabla 12).

Tabla 12. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Orientaciones con resultados más característicos original (0°), 45° y 270°.

La gráfica 1 muestra los resultados de la influencia de la orientación sin tener en cuenta la ventilación natural. Las temperaturas de la orientación original son más elevadas durante las primeras horas del día que el resto, casi todos los días, debido a la orientación este de sus superficies acristaladas. A medida que el sol avanza, la acción de los voladizos sobre la vivienda se hace patente. Las temperaturas de las orientaciones 45° y 270° permanecen siempre ligeramente inferiores que las del estado original debido a los voladizos y a la orientación de las superficies acristaladas, respectivamente. Las temperaturas interiores máximas de todas las orientaciones alcanzan 30° C todos los días analizados, y presentan siempre temperaturas superiores a 25° C durante toda la semana a excepción del día 3 de 4:00 a 5:00 h cuando las temperaturas exteriores descienden hasta 12,97° C. Si se observa la línea de temperatura máxima de confort, solamente durante los días 2, 3 y 4 a partir de las 00:00 h y durante 5-6 horas, las temperaturas interiores están por debajo de 26 ° C. Lo que se traduce en un hipotético empleo de un sistema de climatización mecánico para disminuir las temperaturas interiores y crear un ambiente interior confortable.

Gráfica 1. Casa Jacobs I. Influencia orientación sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.

En la gráfica 2, teniendo en cuenta la ventilación natural, todas las orientaciones presentan datos de temperatura menores que la gráfica 1, superando los 30 ° C solamente los días 5 y 6, los más calurosos, con temperaturas máximas exteriores de 33° C y 34 ° C. La temperatura operativa de la orientación original alcanza siempre los valores mínimos de temperatura máxima durante el día, considerándose la más favorable. La orientación 45° presenta siempre temperaturas ligeramente superiores a la orientación original, con una diferencia de 0, 60° C durante las horas más calurosas. Los resultados de la orientación 270° son prácticamente idénticos a los de la original. Al observar la línea de temperatura límite de confort, el tramo horario en que las temperaturas interiores están por debajo del límite ha aumentado en relación a la simulación sin ventilación natural. De todas formas, durante las horas calurosas del día, de 10:00h a 19:00h las temperaturas interiores superan los 26 °C.

Gráfica 2. Casa Jacobs I. Influencia orientación con ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.

Al comparar las gráficas 1 y 2, sin y con ventilación natural, se observa cómo la opción sin ventilación natural además de presentar temperaturas interiores siempre más elevadas, la curva de temperaturas es más ancha durante las horas del día que en la opción con ventilación natural, en la que la curva de temperaturas interiores se parece más a la de la temperatura exterior. En la opción sin ventilación natural, entre las 9:00 y las 19:00 h, la variación de la temperatura interior es de una media de 2° C, alcanzado la temperatura máxima interior con un desfase horario respecto a la temperatura máxima exterior de entre 3 y 4 horas, resultado del calentamiento del aire interior y de la no renovación del mismo.

Como se comprueba a través de los resultados obtenidos, la acción de la ventilación natural es favorable en todas las orientaciones. La renovación del aire interior junto con el efecto de la inercia térmica de la solera de hormigón y la masa de la fábrica de ladrillo de los muros y la chimenea, hace disminuir la temperatura en todos los casos. En el caso de la orientación original, gracias al diseño y disposición de las ventanas en función de la dirección de los vientos dominantes, ésta juega un papel más efectivo, llegando a disminuir las temperaturas interiores hasta 4,55 ° C durante las últimas horas del día, como se aprecia en la gráfica 3. En la gráfica se ve claramente cómo el efecto de la ventilación natural aumenta la franja horaria en que las temperaturas interiores están por debajo de la temperatura de confort de verano, establecida en 26 ° C, lo que haría disminuir el empleo de un hipotético sistema de climatización mecánico.

Gráfica 3. Casa Jacobs I. Influencia de la ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.

La estrategia de la ventilación natural la empleó Wright en numerosos de sus diseños. En el caso de la casa Jacobs I, las grandes superficies acristaladas se abren a las brisas del verano permitiendo la entrada de aire; el aire caliente acumulado en el interior asciende y es desalojado a través de las ventanas altas de la fachada opuesta como indica la figura correspondiente a la simulación del salón (Figura 147). Esta ventilación cruzada se ve favorecida por la orientación de la vivienda en relación a los vientos dominantes.

Las Figura 147, Figura 148 y Figura 149, corresponden a la simulación de la ventilación natural en verano verificando el comportamiento del aire en el interior de la vivienda.

Figura 147. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Ventilación natural en el salón.

En la zona de los dormitorios (Figura 148), el efecto es similar, las grandes superficies de ventanas todas practicables permiten la entrada de aire más fresco del exterior. Para que se produzca la ventilación cruzada es necesario dejar las puertas de los dormitorios

abierta, pudiendo ser evacuado el aire caliente almacenado a lo largo del día a través de las ventanas altas de la fachada opuesta.

Figura 148. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Ventilación natural dormitorios

La zona central aprovecha la diferencia de niveles de la cubierta para ventilar e iluminar de forma natural la cocina y el baño. Como se aprecia en la Figura 149, el aire caliente del interior asciende y sale a través de las ventanas corridas. En la zona del pasillo de acceso, la figura muestra cómo una masa de aire caliente se almacena en la esquina y gracias a la franja de ventanas altas, se permite la salida de este aire más caliente.

Figura 149. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Ventilación natural de la cocina.

Invierno

Durante la semana de invierno se han realizado simulaciones teniendo en cuenta la calefacción por suelo radiante y la chimenea. La ventilación natural no se ha considerado dado su efecto negativo sobre la temperatura interior.

En la gráfica 4 se aprecia que la orientación 45° presenta temperaturas interiores ligeramente superiores a las de la orientación original los días 5 y 6, con una diferencia máxima de casi 2 ° C, día 6 a las 14:00 h, en que la temperatura exterior es de -7,87° C. Sin embargo, cuando las temperaturas exteriores descienden, incluso durante las horas del día, la diferencia entre las diferentes orientaciones es inapreciable, a excepción de la

270° que presenta siempre los valores más desfavorables, con una diferencia de hasta 2,5°C, el día 3 a las 9:00h siendo la temperatura exterior de -18,35° C.

La gráfica presenta bruscos cambios de temperatura que corresponden a la acción de la chimenea. La simulación de la chimenea está asociada a unos horarios que corresponden con la ocupación de la vivienda. Cuando ésta se enciende la temperatura aumenta, alcanzando rápidamente la temperatura de confort, establecida en 18° C. De la misma forma, cuando se apaga, la temperatura desciende rápidamente, como se traduce en la gráfica, las temperaturas bajas durante la noche. La acción sólo del suelo radiante, tal y como lo diseñó Wright, no es suficiente para mantener la vivienda a una temperatura confortable en los días fríos de invierno en que la temperatura permanece siempre por debajo de 0° C y desciende hasta -23° C.

Gráfica 4. Casa Jacobs I. Influencia orientación sobre la temperatura interior. Invierno.

Analizando los resultados, se observa que, aunque en invierno la orientación original presenta ocasionalmente temperaturas interiores ligeramente inferiores a la orientación 45°, en verano ésta resulta siempre la más favorable. Sin embargo, sería necesario analizar períodos más largos, y realizar los análisis de soleamiento pertinentes para poder ratificar que la orientación elegida es la óptima durante todo el año.

3.2. Voladizos

La presencia de los voladizos en la obra de Frank Lloyd Wright es una característica formal común a toda su obra. En la casa Robie, por poner un ejemplo, los voladizos están dimensionados para proteger del sol las superficies acristaladas, por un lado y por otro para proteger la cornisa de las fachadas más expuestas al clima invernal de Chicago

(Banham 1969). El estudio de las viviendas *usonianas* ha demostrado que prácticamente todas poseen un elemento de protección del sol; un voladizo, que va evolucionando hacia una pérgola inteligentemente estudiada para permitir mayor iluminación natural en el interior de la vivienda a la vez que la protege del sol. En el caso concreto de la casa Jacobs I y tras el análisis realizado, se ha supuesto que la dimensión y disposición de los voladizos favorece el confort interior en los meses calurosos de verano, sin detrimento en invierno. Con el objetivo de demostrar este supuesto y medir su influencia sobre la temperatura interior se han realizado simulaciones de la vivienda con voladizos, es decir, su estado original, y sin voladizos, durante las semanas extremas de verano y de invierno. En una primera simulación de verano se ha tenido en cuenta en ambos casos la acción de la ventilación natural para analizar de forma aislada la acción de los voladizos.

A continuación, se presentan una serie de imágenes (ver figuras 150 y 151) correspondientes a la simulación de la vivienda con y sin voladizos realizada el día 3, (6 de julio). Se puede observar que los voladizos protegen las fachadas acristaladas y el interior de la vivienda de la radiación del sol durante todo el día, menos a primeras horas del día, 7:00 am, debido a la inclinación del sol, siendo la temperatura exterior de 20,65° C. Sin embargo, la maqueta sin voladizos, muestra cómo tanto la zona del salón como los dormitorios quedan expuestos al sol durante las horas del día más calurosas.

Figura 150. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Imágenes de la maqueta con voladizo (6 julio 6:00, 10:00, 12:00, 14:00).

Figura 151. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Imágenes de la maqueta sin voladizo (6 julio 6:00, 10:00, 12:00, 14:00).

La Gráfica 5 muestra las temperaturas interiores de las dos simulaciones. La temperatura interior de la vivienda con voladizos presenta siempre datos más bajos, alcanzando una diferencia máxima de 2,50 ° C el día 3 a las 11h00. Logicamente la acción de los voladizos se hace patente durante las horas del día en que el sol incide sobre la vivienda. Durante la noche, las dos simulaciones presentan temperaturas interiores similares puesto que se benefician de la ventilación natural, considerada en la simulación. Siendo la semana extrema de verano, las temperaturas interiores de la simulación original permanecen durante varias horas por encima de la temperatura de confort.

Gráfica 5. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sobre la temperatura interior. Verano.

En la siguiente gráfica (Gráfica 6), se muestran los resultados de las dos simulaciones sin tener en cuenta la ventilación natural. Lógicamente las temperaturas interiores de las dos simulaciones son más elevadas que las de la gráfica anterior con ventilación natural. Al igual que las simulaciones anteriores sin ventilación natural, la diferencia de temperaturas durante las horas del día es muy reducida, siendo elevadas durante prácticamente todo el día. La temperatura máxima interior de la opción sin voladizos se produce 2 horas antes que la temperatura máxima exterior, debido a la incidencia del sol sobre la vivienda por la orientación elegida.

Gráfica 6. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.

Los resultados de las simulaciones de invierno con y sin voladizos (Gráfica 7) presentan temperaturas interiores muy similares, demostrando que su situación y dimensión no presenta un efecto negativo sobre la temperatura interior permitiendo que la vivienda se beneficie de la radiación solar durante el día. Sólo en los picos del día en que el sol incide con mayor inclinación entre las 12:00 y las 13:00 h, los voladizos protegen una parte de la fachada acristalada, lo que se traduce en una diferencia de temperatura entre las dos simulaciones de 1,40° C, el día 6 a las 14:00h. Sin embargo, cuando el sol continua su órbita, la temperatura desciende de forma precipitada acercándose a la curva de la simulación con voladizos (figuras 152 y 153).

Figura 152. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Imágenes de la maqueta con voladizo (15 enero 8:00, 10:00, 12:00, 14:00).

Figura 153. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Imágenes de la maqueta sin voladizo (15 enero 8:00, 10:00, 12:00, 14:00).

Gráfica 7. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.

3.3. Inercia térmica de los materiales empleados

En el análisis de la vivienda realizado, se ha supuesto que la inercia térmica de los materiales empleados por Wright, la fábrica de ladrillo de la chimenea y los muros de cerramiento, junto con el hormigón de la solera, disminuye el impacto de la fluctuación térmica exterior. Para medir la influencia que la inercia térmica de los materiales utilizados y su localización dentro de la vivienda tienen sobre la temperatura interior y basándose en los estudios de Givoni (2011), se han realizado tres simulaciones diferentes, teniendo en cuenta la acción de la ventilación natural y su funcionamiento tal y como se ha descrito en el apartado anterior.

Simulaciones realizadas:

- Estado original de la vivienda: cerramientos de 1 pie de ladrillo, de madera y solera de hormigón tal y como fue diseñada por Wright.
- Un modelo con menor inercia térmica en el que se han sustituido los cerramientos de fábrica de ladrillo por cerramientos de madera, siguiendo el sistema constructivo de la vivienda. La solera se ha sustituido por un forjado de madera.
- Un modelo de mayor inercia térmica sustituyendo los cerramientos originales de madera por fábrica de ladrillo. La solera de hormigón se ha conservado.

Hay que tener en cuenta que los cambios de la configuración constructiva de la vivienda suponen una variación del valor de transmitancia térmica de los cerramientos y del edificio. En las tres se ha tenido en cuenta la acción de la ventilación natural y su funcionamiento tal y como se ha descrito en el apartado anterior.

La Tabla 13, a continuación, muestra las maquetas de las tres simulaciones analizadas.

Tabla 13. Casa Jacobs I. *Design Builder*. Simulaciones realizadas para la influencia de la inercia térmica.

El programa *Design Builder* tiene en cuenta las propiedades térmicas de los materiales para las simulaciones, como conductividad, calor específico y emisividad.

Para el análisis se han tomado los resultados de la temperatura operativa dentro del salón, siendo los más representativos. Esta estancia está formada por cerramientos de los dos tipos. A priori la solera de hormigón va a tener una influencia positiva sobre la temperatura interior que no va a tener el forjado de madera.

La Gráfica 8 muestra los resultados de las simulaciones en la semana de verano. La opción con mayor inercia térmica presenta las menores temperaturas máximas y la menor oscilación día-noche. Mientras, la vivienda de madera con menor inercia térmica, presenta una mayor oscilación de temperaturas y las máximas más elevadas, con una diferencia con el estado original de hasta 2,80 ° C y con la opción de mayor inercia térmica de 4 ° C. Las temperaturas del estado original son ligeramente más elevadas que las de la vivienda de ladrillo durante las horas del día, alcanzando una diferencia máxima de hasta 1,20 ° C grados, día 6 a las 15h00, siendo la temperatura exterior de 33,85°C. Cuando las temperaturas exteriores descienden, las temperaturas de la vivienda original disminuyen por debajo de la de mayor inercia térmica. En estas dos opciones el desfase de la onda térmica es de 4 horas en los días 5 y 6 más calurosos, sumado al efecto positivo de la ventilación natural consiguen reducir la temperatura máxima interior. Como se ha visto en las imágenes de soleamiento correspondientes al estudio de los voladizos, éstos protegen las fachadas acristaladas y el interior de la vivienda de la radiación del sol durante las horas más calurosas del día. De esta forma, la solera de hormigón queda igualmente protegida, evitando almacenar calor durante el día. A partir de las 16:00 h las ventanas se abren permitiendo la ventilación cruzada y refrescando el interior del salón. Junto con el efecto de la ventilación nocturna, al permanecer las ventanas abiertas en un 50% durante la noche, la solera capta el frío del aire más fresco y lo cede al ambiente durante las primeras horas del día. En la opción de menor inercia

térmica, la madera del forjado de la planta no tiene las mismas propiedades, luego las temperaturas interiores aumentan rápidamente durante las primeras horas del día.

Gráfica 8. Casa Jacobs I. Influencia inercia térmica de los materiales sobre la temperatura interior. Invierno

En la Gráfica 9, correspondiente a la simulación de invierno, se observa que la opción de mayor inercia térmica presenta las temperaturas máximas menores con una diferencia máxima de $1,6^{\circ}\text{C}$ en relación con la vivienda original y de 4°C con la opción de menor inercia térmica. Sin embargo, presenta las mínimas más elevadas; de nuevo, menor oscilación. La opción con menor inercia térmica, gracias a la chimenea, alcanza las temperaturas máximas más elevadas, con una diferencia máxima con la vivienda original de $2,5^{\circ}\text{C}$, sin embargo, presenta las mínimas menores, siendo la oscilación térmica mayor. La gráfica de temperaturas del estado original, al igual que en verano, permanece entre las dos opciones. Hay que considerar que el consumo energético en calefacción es el mismo para las tres simulaciones.

Gráfica 9. Casa Jacobs I. Influencia inercia térmica de los materiales sobre la temperatura interior. Invierno

En verano la vivienda de ladrillo podría considerarse la más favorable, en invierno presenta los datos más desfavorables. La opción con menor inercia térmica, favorecida por el efecto de la chimenea, presenta las temperaturas máximas más elevadas en invierno pero también en verano. La vivienda en su estado original, combinando de forma inteligente madera y ladrillo, (Figura 154), presenta resultados medios, aprovechando las ventajas de los materiales tanto en verano como en invierno. Los muros sur y la solera de hormigón tanto en la zona del salón como en los dormitorios, por su orientación reciben radiación del sol en invierno prácticamente todo el día, emitiéndolo al ambiente interior durante las últimas horas del día, efecto que se ve favorecido gracias a la calefacción por suelo radiante. El mismo efecto se produce gracias a la acción de la chimenea sobre la masa de ladrillo del núcleo central. Esta almacena el calor de la chimenea y lo cede al ambiente incluso cuando ésta se apaga.

En verano, gracias a la presencia de los voladizos, la solera del interior de la vivienda y los muros sur quedan protegidos. El núcleo central por su situación en el interior, queda igualmente protegido. Durante la noche estos elementos, que no se han sobrecalentado, se enfrían gracias a la ventilación nocturna, refrescando la vivienda durante la mañana de forma natural.

La imagen muestra la maqueta de la vivienda con los diferentes tipos de cerramiento y su localización elegida de forma inteligente por Wright.

Figura 154. Casa Jacobs I. Maqueta *Revit*. Tipos de cerramiento.

A continuación, se presenta a modo de resumen la Tabla 14 con los resultados más representativos de cada simulación. Se ha señalado la diferencia de temperatura interior de las variables analizadas, destacando la acción de la ventilación natural sobre la temperatura interior que supone un descenso de hasta 4,5 grados en los días calurosos de verano.

Variables	Fecha	Estado Original	Simulación 2			Simulación 3		
		T. Interior	descripción	T. Interior	Diferencia	descripción	T. Interior	Diferencia
		T(°C)		T(°C)	ΔT (°C)		T(°C)	ΔT (°C)
Ventilación Natural	Verano Día 3- 20h00	25,16	sin Ventilación natural	29,71	4,55			
Voladizos	Verano Día 3- 11h00	28,58	sin voladizos	31,06	2,48			
Inercia térmica	Verano Día 6 - 15h00	31,94	de madera	34,87	2,93	de ladrillo	30,89	-1,05
Inercia térmica	Invierno Día 5 -14h00	25,23	de madera	27,80	2,57	de ladrillo	23,65	-1,58

Tabla 14. Resumen de resultados más representativos.

4. Análisis de la influencia del comportamiento de los usuarios en el confort térmico interior

En el apartado anterior se ha analizado cómo las diferentes estrategias empleadas por Frank Lloyd Wright influyen de forma positiva sobre el confort térmico interior tomando como referencia el valor de temperatura operativa. En este apartado, se va a analizar cómo el comportamiento de los usuarios puede influir sobre el confort térmico interior de forma positiva sin variar las condiciones climáticas interiores.

4.1. Influencia de la vestimenta, *cloth* (características térmicas del vestido).

A continuación, se analiza, cómo el factor de vestimenta, *clo*, influye sobre el confort interior. Para ello, se van a tomar datos de los resultados obtenidos en la simulación de la vivienda en el estado original en la estancia concreta del salón. Para calcular el confort térmico se va a emplear la herramienta de cálculo de *Center for the Built Environment* (CBE) de la Universidad de Berkely. <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.

Se van a realizar diferentes cálculos introduciendo los datos del programa y modificando sólo la variable de la vestimenta. A continuación, se presenta la Tabla 15 con el tipo de vestimenta y la resistencia térmica, valor de *clo*.

Tipo de vestimenta	I _{clo} (clo)
Pantalón corto, camiseta manga corta	0.36
Falda por las rodillas, camisa manga corta y sandalias	0.54
Pantalón, camisa manga corta	0.57
Pantalón, camisa manga larga ligeros	0.61
Falda por las rodillas, camisa manga larga, medias	0.67
Pantalón, camisa manga larga tejido más grueso	0.74
Pantalón, camisa manga larga y chaqueta	0.96
Pijama de manga larga, pantalón largo, o camión largo	0.96
Pantalón, camisa manga larga, jersey de manga larga y camiseta interior	1.01
Falda por las rodillas, camisa manga larga, chaqueta y medias	1.04
Falda por las rodillas, camisa manga larga, medias y jersey de manga larga	1.10
Falda larga, camisa manga larga, chaqueta y medias	1.10
Pantalón, camisa de manga larga, jersey de manga larga, camiseta interior y chaqueta de traje	1.30
Pantalón, camisa de manga larga, jersey de manga larga, camiseta interior y chaquetón	1.50
Mono de trabajo manga larga y camiseta	0.72
Peto de trabajo, camisa manga larga y camiseta.	0.89
Mono de trabajo aislado, ropa interior manga larga y pantalón largo aislados	1.37

Tabla 15. Resistencia térmica de vestimenta. Fuente: *Thermal comfort chapter, Fundamentals volume of the ASHRAE Handbook*, ASHRAE, Inc. Atlanta, GA, 2005 y datos de la herramienta de cálculo de *Center for the Built Environment* (CBE) de la Universidad de Berkely

Es necesario señalar que para el cálculo del confort térmico y observar la influencia del índice de vestimenta, se va a emplear el método de PMV y no el método adaptativo. El método adaptativo considera que los ocupantes pueden controlar su índice de vestimenta a las condiciones térmica interiores y/o exteriores, pero no precisa la introducción de un dato concreto de clo.

Verano

Para el análisis de verano se han tomado los datos del día 5 a las 12:00, correspondientes a la simulación realizada con *Design Builder*, que se muestran en la siguiente tabla.

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Operativa (° C)	Humedad R (%)	V. del aire (m/s)
Día 5 12:00	32.5	31.30	43.11	0,75

Tabla 16. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con *Design Builder* del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Verano.

Para el análisis se han empleado tres valores diferentes de vestimenta:

	clo	PMV	PPD (%)
Caso 1	0.36	0.48	10
Caso 2	0.57	0.86	20
Caso 3	0.61	0.99	26

Tabla 17. Valores del índice de vestimenta (clo) y resultados de PMV y PPD obtenidos con la herramienta de cálculo.

En los tres casos las condiciones térmicas interiores son las mismas, la única variable es el índice de vestimenta.

A continuación, se muestran los gráficos psicométricos de temperatura operativa/humedad, de los 3 valores de vestimenta analizados. Se observa que, con un valor de clo de 0.36, correspondiente a una vestimenta de pantalón corto y camiseta de manga corta, se considera que con las condiciones climáticas interiores introducidas, la estancia del salón se encuentra dentro de la zona de confort, con un índice de PMV de 0.48 y un 10% de personas insatisfechas (Gráfico 5). Sin embargo, para los otros dos casos, con valores de clo de 0.57 (Gráfico 6) y 0.61 (Gráfico 7), con las mismas condiciones térmicas interiores no se alcanza la zona de confort, considerando estas condiciones *slightly warm*,¹⁰⁶ con un porcentaje de insatisfechos de 20% y 26% respectivamente.

¹⁰⁶ Traducción: ligeramente caluroso.

CBE Thermal Comfort Tool

Select method: PMV method

Operative temperature: 31.3 °C

Air speed: 0.75 m/s

Humidity: 43.11 %

Metabolic rate: 1 met

Clothing level: 0.36 clo

Globe temp Specify pressure Local discomfort

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges Upload

✓ Complies with ASHRAE Standard 55-2013

PMV with elevated air speed 0.48
PPD with elevated air speed 10%
Sensation Neutral
SET 26.2°C
Drybulb temperature at still air 28.2°C
Cooling effect 3.1°C

Psychrometric chart (air temperature)

Gráfico 5. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.36.

CBE Thermal Comfort Tool

Select method: PMV method

Operative temperature: 31.3 °C

Air speed: 0.75 m/s

Humidity: 43.11 %

Metabolic rate: 1 met

Clothing level: 0.57 clo

Globe temp Specify pressure Local discomfort

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges Upload

✗ Does not comply with ASHRAE Standard 55-2013

PMV with elevated air speed 0.86
PPD with elevated air speed 20%
Sensation Slightly Warm
SET 27.7°C
Drybulb temperature at still air 28.3°C
Cooling effect 3.0°C

Psychrometric chart (air temperature)

Gráfico 6. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.57.

Gráfico 7. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.61.

Se va a invertir el razonamiento; con un valor de vestimenta de 0.61 clo, se va a calcular qué temperatura operativa sería necesaria para obtener los mismos valores de PMV y de porcentaje de personas insatisfechas que con la vestimenta de 0.36. Se observa en el gráfico siguiente (Gráfico 8) que la temperatura operativa debería ser de 30°C lo que significa una diferencia de 1.3 °C. Esta reducción de la temperatura interior implicaría el aporte de un sistema de aire acondicionado, con el consumo energético correspondiente.

Gráfico 8. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.61 para alcanzar los mismos datos de PMV y PPD que con el índice de vestimenta clo 0.36.

Invierno

En invierno se puede apreciar un efecto similar. Se han tomado datos correspondientes a los resultados del día 5 a las 12:00h (Tabla 18), con una temperatura exterior media dentro de la semana analizada. Hay que recordar que la fuente de calor de la vivienda es la calefacción por suelo radiante y la chimenea, ambos sistemas en funcionamiento.

Fecha	T. Ext. BS (°C)	T. Operativa (°C)	Humedad R (%)	V. del aire (m/s)
Día 5 12:00	-8.37	19.03	7.50	0.1

Tabla 18. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con *Design Builder* del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Invierno.

Los valores que se han empleado para analizar la influencia de la vestimenta son:

	clo	PMV	PPD (%)
Caso 1	1.01	-1.33	42
Caso 2	1.30	-0.81	19
Caso 3	1.50	-0.54	11

Tabla 19. Valores del índice de vestimenta (clo) y resultados de PMV y PPD obtenidos con la herramienta de cálculo.

En los tres casos las condiciones térmicas interiores son las mismas, la única variable es el índice de vestimenta.

A continuación, se muestran los gráficos psicométricos de temperatura operativa/humedad, de los 3 valores de vestimenta analizados. Se observa que, una temperatura operativa de 19.03 no se alcanza la zona de confort definida por Fanger con un PMV de (-0.5 /+0.5) en ninguno de los 3 casos analizados. Con un valor de vestimenta de 1.01 clo, el porcentaje de personas insatisfechas es del 42% (Gráfico 9). Si se añade una chaqueta de traje a la vestimenta, el índice se reduce hasta un 19% (Gráfico 10). Un valor de vestimenta de 1.5 clo en el interior de la vivienda puede ser considerado excesivo y aunque el PMV es de -0.54 (Gráfico 11), habría que preguntarse por el confort del usuario dentro de la vivienda con esta vestimenta.

Gráfico 9. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.01.

Gráfico 10. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.30.

Gráfico 11. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.50.

Si se aplica la misma lógica que en verano, tomando el nivel de 1.01 clo, se va a calcular la temperatura operativa que debería alcanzarse en el interior para llegar a un PMV de -0.81 correspondiente a un valor de vestimenta de 1.3. En el gráfico se muestra cómo la temperatura operativa debería ascender a 21.2°C (Gráfico 12), lo que supone 2°C de diferencia con respecto a la temperatura operativa original.

Gráfico 12. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.01 para alcanzar los mismos datos de PMV y PPD que con el índice de vestimenta clo 1.30.

Se trata de dos formas diferentes de aproximarse a la zona de confort, bien mediante la acción de sistemas de climatización mecánica, ya sea aire acondicionado en verano o calefacción en invierno, con el consumo energético implícito, o bien, variando el aislamiento térmico de la vestimenta poniendo o quitando un jersey.

Se puede concluir que el tipo de vestimenta influye sobre el confort térmico interior de forma automática. El hecho de aumentar o disminuir el aislamiento térmico de la ropa, puede implicar una reducción del empleo de los sistemas mecánicos de climatización.

4.2. Cálculo del confort térmico interior de la vivienda Jacobs I

En este apartado se va a realizar el cálculo del confort térmico interior de la vivienda Jacobs I en su estado original, tal y como fue diseñada por Wright, tomando los datos proporcionados por la simulación digital y empleando los dos métodos de evaluación anteriormente descritos. Para ello se va a utilizar la misma herramienta de cálculo de confort térmico que en el apartado anterior, del *Center for the Built Environment* (CBE) de la Universidad de Berkely. <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Como estándar de comparación se ha seleccionado el de la ASHRAE standard 55-2013.

Como se expuso en el apartado de confort térmico, dicha herramienta permite el cálculo del confort térmico aplicando los dos métodos:

- Método de predicción, empleando el modelo de Fanger. Como se comentó, los parámetros a introducir no tienen en cuenta las condiciones climáticas externas.
- Método de adaptación. Este método es aplicable sólo en edificios ocupados con sistema de ventilación natural, que no tenga instalado un sistema de aire climatización mecánico y el sistema de calefacción no esté en uso.

La casa Jacobs I, respeta los condicionantes arriba nombrados, luego el método adaptativo es de aplicación para valorar el confort interior.

Se va a analizar cómo empleando los dos métodos de evaluación se alcanza o no la zona de confort. Para ello se han tomado los resultados de la temperatura operativa de la semana extrema de verano de la vivienda en su estado original, es decir, teniendo en cuenta la ventilación natural, con los voladizos originales de Wright y con los cerramientos combinando muros de fábrica de ladrillo y de madera. Se han seleccionado los datos extremos; temperatura operativa máxima y mínima (Tabla 20).

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Operativa (° C)	Humedad R (%)	V. del aire (m/s)
Día 5 15:00	32.75	31.78	41.21	0.75
Día 3 3:00	13.62	22.43	13.65	0.10

Tabla 20. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con *Design Builder* del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Verano. Datos de Tª operativa máxima y mínima.

Parece necesario recordar que la ventilación natural es operable gracias a la acción de los usuarios mediante la apertura de las ventanas y de las puertas. A continuación, se recuerdan los criterios de funcionamiento establecidos para la simulación:

- Las ventanas son abiertas por los usuarios cuando la temperatura interior de la vivienda supera los 24° C,
- permanecen abiertas durante la noche en los meses de junio, julio y agosto en un 50% en el salón y dormitorios y un 100% en la cocina y baño.

- Durante el día, de 10:00 a 16:00h, cuando las temperaturas exteriores son más elevadas, las ventanas permanecen cerradas evitando el sobrecalentamiento interior, y
- a partir de las 16:00 se abren al 100%.

Para los dos cálculos, en concreto para la aplicación del método de predicción, se han tenido en cuenta los siguientes supuesto:

- Índice de vestimenta de 0.57 clo, típico de verano para el supuesto de día y de 0.61 clo para el cálculo de noche.
- Tasa metabólica de 1 met, correspondiente a una actividad sentado.

4.2.1. Cálculo 1: Temperatura operativa máxima

A continuación, se presentan los diagramas psicométricos correspondientes a los datos del día 5 a las 15:00 con una temperatura exterior de 32.75 °C y una temperatura operativa de 31.78°C.

Empleando el método de predicción, los datos introducidos de temperatura operativa y humedad, contando con la velocidad del aire de 0.75 m/s debida a la ventilación natural no cumplen con los estándares de confort de la ASHRAE Standard 55-2013. Se obtiene un PMV de 0.99, sensación *slightly warm*.¹⁰⁷ Además, aporta un malestar debido a la elevada velocidad del aire. El porcentaje de personas insatisfechas es del 26% (Gráfico 13)

Sin embargo, con el empleo del método adaptativo introduciendo los mismos datos, los resultados son diferentes; las condiciones anteriormente descritas sí se consideran dentro de la zona de confort en relación a los mismos estándares. Como se aprecia en el gráfico (Gráfico 14), este método considera la temperatura exterior para evaluar el confort teniendo en cuenta que el usuario reaccionará para alcanzar el bienestar.

¹⁰⁷ Traducción: Ligeramente calurosa

Gráfico 13. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. T^a operativa máxima en verano. Método de predicción. El punto rojo que representa las condiciones introducidas está fuera de la zona de confort.

Gráfico 14. Gráfico T^a operativa/ T^a exterior. T^a operativa máxima en verano. Método adaptativo. El punto rojo que representa las condiciones introducidas en el gráfico se encuentra dentro de la zona de confort.

4.2.2. Cálculo 2: Temperatura operativa mínima

A continuación, se presentan los diagramas correspondientes a los datos del día 3 a las 3h00 con una temperatura exterior de 13.62°C y con la mínima temperatura operativa de 22.43°C.

El cálculo a través del método de predicción aporta como resultado una sensación térmica *slightly cool*¹⁰⁸ con un PMV de -1.29 y un PPD del 40% de los ocupantes. El nivel de vestimenta se ha elevado a 0.61 clo, por ser las temperaturas inferiores más bajas. La velocidad del aire se ha reducido a 0.1 m/s, puesto que la ventilación natural no está operativa al 100% durante la noche (Gráfico 15).

Por otro lado, el empleo del modelo adaptativo (Gráfico 16), considera que las condiciones introducidas producen unas condiciones confortables. Se aprecia de nuevo cómo el valor de la temperatura exterior condiciona la evaluación del confort. Cabe señalar que el método de adaptación no permite introducir una velocidad del aire menor de 0.3m/s, por lo que el cálculo para las condiciones de temperatura mínima se ha realizado utilizando este dato de velocidad del aire.

Gráfico 15. Gráfico Psicométrico T^a operativa/Humedad. T^a operativa mínima en verano. Método de predicción. El punto rojo que representa las condiciones introducidas está fuera de la zona de confort.

¹⁰⁸ Traducción: Ligeramente fría.

Gráfico 16. Gráfico T^a operativa/ T^a exterior. T^a operativa mínima en verano. Método adaptativo. El punto rojo que representa las condiciones introducidas en el gráfico se encuentra dentro de la zona de confort.

CAPÍTULO V. DISCUSION DE RESULTADOS. CONCLUSIONES.

Discusión de resultados. Conclusiones.

El objetivo de este trabajo de investigación es analizar la arquitectura bioclimática tomando como referencia la obra de Frank Lloyd Wright y, en concreto, la casa Jacobs I, como su modelo más representativo, para recuperar una vía de experimentación arquitectónica alternativa que había caído en el olvido.

Las siguientes conclusiones deben entenderse en su contexto histórico. Las estrategias bioclimáticas empleadas por Wright en la casa Jacobs I, en muchos casos herederas de antiguas tradiciones arquitectónicas, supusieron mejoras en el comportamiento térmico del edificio. Consideradas como novedosas en la construcción de vivienda norteamericana de los años 30, muchas de ellas han sido plenamente asumidas por la arquitectura bioclimática actual.

1. La vivienda en la obra de Frank Lloyd Wright. La vivienda usoniana

El análisis constructivo de la tipología residencial unifamiliar desde el punto de vista medioambiental demuestra que la obra de Wright es evolutiva y siempre en relación con la naturaleza. La formalización de sus ideas es fruto de decisiones basadas en la búsqueda de confort interior:

Así, el sótano, según el propio arquitecto un espacio mal ventilado y mal iluminado, sin uso específico, desaparece, aproximando la vivienda al terreno.

El ático también desaparece, y sus estancias son desplazadas a la planta baja; por lo tanto, la cubierta inclinada ya no tiene razón de ser y es sustituida por una cubierta plana, lo que facilita su construcción y aporta horizontalidad a la vivienda. Wright introdujo la cubierta plana ventilada en muchas de sus viviendas para refrescar los espacios interiores.

Para iluminar y ventilar bien la vivienda, crea numerosas fachadas acristaladas cuya orientación varía en función del lugar en que se ubique la vivienda y el clima. Estas grandes superficies transparentes fomentan la conexión de los espacios interiores con el exterior, la naturaleza. Para favorecer la ventilación cruzada, Wright diseña plantas en “L”, en “T”, o alargadas, con espacios fluidos que hacen posible la transversalidad del aire a través de las fachadas enfrentadas y los huecos diseñados de forma inteligente.

La cocina y el baño se sitúan en proximidad, para aprovechar las instalaciones, y normalmente en el centro de la vivienda, sin ocupar la fachada. Para iluminar y ventilar de forma natural estos espacios centrales, Wright diseña la cubierta a mayor altura introduciendo ventanas corridas que permiten el paso de luz y la extracción natural del aire viciado de la cocina y el baño.

La chimenea se ubica generalmente en el centro de la vivienda para distribuir el calor radiante a la vivienda y está construida con materiales de gran inercia térmica, que equilibran la temperatura interior tanto en verano como en invierno.

El sistema de calefacción *Gravity Heat* evoluciona a través de la propia experimentación y gracias a la tecnología, generando ambientes confortables debido a sus características.

En fin, la arquitectura de Wright es consecuencia de unas decisiones basadas en el clima y el entorno con el objetivo de diseñar espacios confortables y habitables para el hombre. Del análisis de su obra se observa que se trata de soluciones diferentes a las mismas cuestiones en función del clima y el entorno.

*“Form and function are one”*¹⁰⁹ (Wright 1943).

El análisis realizado muestra que la obra de Wright merece su atención, no sólo por su calidad formal sino por su eficiencia desde una perspectiva medioambiental. La calidad espacial y formal de su obra es, en numerosas ocasiones, el resultado de una reflexión global sobre el espacio junto a la preocupación por el confort interior teniendo en cuenta el entorno y la naturaleza.

La elección de la casa Jacobs I, tomada como modelo para demostrar las hipótesis planteadas en este trabajo, es consecuencia del estudio de la obra residencial del arquitecto, destacando la citada vivienda por su simplicidad tanto constructiva como funcional en términos de organización y medioambiental. En ella están implícitas las estrategias de diseño bioclimático que el arquitecto empleó en las viviendas *usonianas* durante toda su carrera de forma sistemática, representando un modelo tipo.

2. Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la tipología residencial unifamiliar. Análisis de la casa Jacobs I.

2.1. Metodología aplicada

La metodología empleada a través de la simulación digital del edificio, permite analizar la influencia de las estrategias planificadas de forma independiente, pero teniendo en cuenta la incidencia y la repercusión entre ellas. Por ejemplo, la orientación y la ventilación natural; o la inercia térmica de los materiales y su localización en la vivienda y la orientación; o el diseño y presencia de los voladizos y la orientación. Y por supuesto, el entorno, la topografía y la morfología de la parcela.

La metodología de valoración y de análisis de las estrategias bioclimáticas y del confort térmico interior a través de la simulación digital mediante herramientas actuales es aplicable a edificios cuyo análisis in situ vendría dificultado por su contexto histórico o lejanía geográfica.

2.2. Contexto histórico

Wright aplicó los principios de diseño bioclimáticos sin más herramienta que el sentido común y su propia experiencia, con un resultado eficaz. Por imposibilidad de acceso a

¹⁰⁹ Traducción: “Función y forma son

los archivos, el autor desconoce si Wright ya había realizado estudios y cálculos de orientación solar y de soleamiento. La vivienda Jacobs I, construida en 1937, empleaba materiales con valores de transmitancia térmica U muy por encima de los exigidos en la actualidad. A pesar de ello, como demuestran los resultados obtenidos, gracias a las estrategias bioclimáticas como la orientación y la ventilación natural, el diseño de voladizos y el aprovechamiento de la inercia térmica de los materiales, y contando con la capacidad de reacción y adaptación de los usuarios a las condiciones térmicas exteriores, Wright consigue una mejora sobre la temperatura interior tanto en verano como en invierno.

Conviene señalar las limitaciones del estudio realizado en cuanto a la recopilación de datos históricos de la construcción de la vivienda. Los valores de transmitancia térmica U deben tomarse de forma orientativa y sirven para situar la envolvente de la vivienda dentro de un rango y poder realizar una comparativa con los valores de las reglamentaciones actuales.

La aplicación de estos conceptos en la construcción actual de viviendas, que emplea sistemas constructivos más evolucionados, generaría incluso mejores resultados que los estudiados a nivel de confort térmico interior.

2.3. Simulación energética digital

La simulación energética permite cuantificar y valorar el impacto de los diferentes elementos de diseño arquitectónicos sobre el confort térmico interior, tomando como referencia la variable de la temperatura operativa. A través de esta herramienta se ha demostrado que las estrategias empleadas por Wright en sus diseños, y más concretamente en las casas *usonianas* empleando como modelo la casa Jacobs I, influyen de forma positiva sobre el confort térmico interior.

- El análisis demuestra que la influencia de la orientación sobre la temperatura operativa no supone por sí mismo una mejora apreciable en relación a las otras orientaciones. Sin embargo, al introducir el parámetro de la ventilación natural, se comprueba que en verano la temperatura operativa de la vivienda en estado original se ve más favorecida que las demás gracias a la ventilación natural, debido a la orientación de la vivienda en función de la dirección de los vientos en verano. La ventilación natural supone una mejora en las condiciones de confort a través de la reducción de temperatura operativa en verano de hasta 4,5º C. Lo cual se traduce en la reducción del uso de sistemas de climatización mecánicos y el correspondiente ahorro energético de hasta un 20% (según datos de IDAE 2005).
- Se ha demostrado que la protección de las fachadas acristaladas y del interior durante las horas en que el sol incide sobre la vivienda en verano es una estrategia positiva. Se ha comprobado a través de este análisis que este elemento de diseño tan característico de la estética *wrightiana* es el resultado de la preocupación del arquitecto en lograr un confort interior adecuado.

- La vivienda emplea materiales y sistemas constructivos diferentes en función de su localización y orientación, demostrando a través de los resultados obtenidos que esta estrategia supone un buen equilibrio térmico tanto en verano como en invierno. La vivienda con mayor inercia térmica proporciona los mejores resultados en verano, no así en invierno. Sería necesario realizar análisis anuales para poder determinar si la vivienda logra mantener las temperaturas estables durante todo el período estival frente a las altas temperaturas exteriores debido a la exposición sur de una hipotética fachada de ladrillo de los dormitorios. Este análisis puede poner en duda el auge actual, de forma casi sistemática, de la construcción de edificios de alta inercia térmica, demostrando que un equilibrio entre el empleo de materiales y su ubicación pueden aportar unas condiciones térmicas también favorables.

A través de este análisis se demuestra que las estrategias bioclimáticas empleadas representan una influencia positiva sobre la temperatura operativa de la vivienda. Esta influencia, medida en diferencia de temperatura, supone un ahorro energético considerable. La aplicación de estas estrategias en la arquitectura actual tendría como consecuencia una reducción en el consumo de energía por parte del sector de la construcción.

3. Influencia del comportamiento de los usuarios en el confort térmico interior

El análisis realizado obtiene resultados positivos sobre el uso de las estrategias bioclimáticas empleadas por el arquitecto. En la simulación se ha considerado la acción de los usuarios para alcanzar y mantener las condiciones de confort térmico interior a través del funcionamiento de la chimenea, programado según un planning de ocupación de la vivienda, y a través de la ventilación natural, mediante una programación de aperturas de ventanas realizada directamente por los usuarios. Estos dos factores son indispensables a la hora de aportar confort al interior de la vivienda, y si los usuarios no ponen en marcha estos sistemas, el confort no será alcanzado.

3.1. Influencia del índice de vestimenta

Otro parámetro dependiente de los usuarios y relacionado con el confort es el índice de vestimenta. A través de la variación del índice de vestimenta (clo) y su influencia sobre la zona de confort térmico interior, manteniendo las mismas condiciones climáticas interiores obtenidas de la simulación de la vivienda Jacobs I en su estado original, se observa que el índice de vestimenta es un factor que influye de forma directa sobre el rango de confort. A través del ejemplo concreto de la casa Jacobs I se ha demostrado que variar el índice de vestimenta es una medida directa para alcanzar el confort interior, tanto en verano como en invierno, manteniendo las condiciones interiores. Otra solución consistiría en variar las condiciones climáticas interiores a través de la utilización de sistemas de acondicionamiento artificiales con el consumo energético que supone.

Se trata de dos formas diferentes de aproximarse a la zona de confort. Mediante la variación del índice de vestimenta, medida que realiza directamente el usuario, se

reduce el empleo del aire acondicionado en verano o de la calefacción en invierno, con el ahorro energético que esta medida supondría.

3.2. Métodos de cálculo del índice de confort térmico interior de la vivienda Jacobs I

Los resultados de temperatura operativa interior obtenidos en la vivienda durante la semana extrema en verano parecen, a priori, demasiado elevados para considerarla confortable (31.78°C el día 5 a las 16:00h). Sin embargo, mediante la aplicación del método adaptivo para el cálculo del índice de confort térmico, se demuestra que la vivienda está dentro de la zona de confort térmico en verano siguiendo los estándares de la ASHRAE- 55. El método adaptativo para edificios ventilados de forma natural, al tener en cuenta la capacidad de los usuarios de adaptar la vestimenta según las condiciones térmicas, permite un rango de confort más amplio. La aplicación de este método se puede traducir en una reducción de la temperatura de confort de 1.5°C, con el correspondiente ahorro energético (entre un 5-10% según datos del IDAE 2005). Sin embargo, al aplicar el método de cálculo de PMV se obtiene como resultado que la vivienda no está dentro de la zona de confort por lo cual sería necesario el empleo de un sistema de climatización mecánica para alcanzarlo, con el consecuente consumo energético.

De lo anteriormente expuesto se deduce que el método adaptativo, cuyo rango de temperaturas que delimitan la zona de confort térmico es más flexible, y es sólo aplicable a edificios ventilados de forma natural, deberían diseñarse más edificios con un sistema de ventilación natural. Para que estos edificios alcancen condiciones térmicas interiores de confort deberán estar bien diseñados, teniendo en cuenta, como hacía Wright, las condiciones climáticas exteriores. En la actualidad existen herramientas y datos climáticos suficientes para ser aplicadas en el diseño arquitectónico. Además, los programas de simulación digital como *Design Builder*, que introduce los datos climáticos del lugar, son una herramienta válida para ello.

4. Transposición a la arquitectura actual.

La transposición que en esta tesis se propone no es formal sino ideológica, del proceso de diseño y aproximación a la naturaleza que hace Wright en sus edificios; el conocimiento del lugar, del clima y de los materiales. El diseño basado en la naturaleza y en la confianza en una sociedad más responsable junto con el soporte del desarrollo tecnológico puede ser el camino hacia una arquitectura que responda a la tendencia de derroche energético actual.

Hacer frente al cambio climático y frenar sus consecuencias negativas para el planeta es una necesidad. Urge actuar de forma responsable para reducir la huella ecológica y; reduciendo el impacto que la arquitectura genera sobre la naturaleza.

Gran parte de la energía y de las emisiones de CO₂ del sector de la construcción se deben al empleo de sistemas de climatización y calefacción para mantener las condiciones térmicas en el interior del edificio adecuadas a las actividades que en él se desarrollan. A través de la investigación realizada se ha demostrado que esas

condiciones térmicas interiores son alcanzables y mejoradas mediante el diseño de estrategias bioclimáticas basadas en el clima y los elementos de la naturaleza, cuya aplicación no supone un consumo energético, favorecidas por el empleo de materiales adecuados, que pueden reducir el uso de los sistemas mecánicos de acondicionamiento.

Numerosas discusiones, reglamentaciones y directivas a nivel nacional y europeo están en marcha con este objetivo. Sin embargo, a través de este trabajo de investigación se ha tratado de demostrar que hay otras soluciones de más sencilla implementación.

El proceso arquitectónico de Wright puede servir como modelo en la arquitectura actual. Su amor hacia la Naturaleza¹¹⁰ supone el punto de partida de su obra. El medioambiente es la riqueza del hombre, como se encargó de recordar *Charles Caccia* en la *World Commision on Environment and Development* en 1987:

“How long can we go on and safely pretend that the environment is not the economy”¹¹¹

Wright empleaba hace 100 años una estrategia bioclimática basada en el sentido común y su propia experiencia arquitectónica. En la actualidad, el diseño arquitectónico que aplica estrategias bioclimáticas pretende resultar novedoso y las etiquetas de arquitectura sostenible o ecológica se han convertido en herramientas de marketing; Cuando debería ser una máxima de la arquitectura actual.

A modo de recordatorio, las siguientes ideas deberían formar parte de todo proceso arquitectónico:

- Amor hacia la Naturaleza
- Conocimiento del entorno, del clima y de la topografía para obtener el máximo provecho del mismo
- Construcción, en la medida de lo posible, con materiales de la zona, minimizando la huella ecológica como consecuencia de la manufacturación y transporte de los mismos al lugar de construcción.
- Simplicidad constructiva y formal basada en la funcionalidad del edificio.
- Edificación para usos habitables basados en el largo plazo.
- Consideración de la capacidad de adaptación y reacción de los usuarios a las condiciones cambiantes del clima frente al uso indiscriminado de los sistemas mecánicos de acondicionamiento interior.

¹¹⁰ Naturaleza, con mayúsculas como lo escribía el propio arquitecto.

¹¹¹ Ver nota 8 para traducción.

Integrar este catálogo de ideas no debería en ningún caso suponer una limitación en la actuación del arquitecto, cuya identidad concreta quedará reflejada en la solución formal. Como dijo Louis Sullivan, *lieber meister*¹¹²:

*“our architecture reflects us truly as a mirror”*¹¹³

Wright definía arquitectura orgánica como aquella que era apropiada al lugar, a las personas y a su época, y diseñada basándose en ellos. Se trata de ir más allá del mero objetivo de la conservación medioambiental, que es uno de los fines de la arquitectura ecológica y sostenible, y plantear la arquitectura como una relación de amor y respeto a la Naturaleza de la que formamos parte, con el fin de alcanzar la felicidad a través de la misma y, como consecuencia lógica de esta relación de simbiosis, la conservación del medio ambiente.

¹¹² Traducción: querido maestro, como le llamaba Fran Lloyd Wright.

¹¹³ Traducción: “Nuestra arquitectura nos refleja”

CHAPTER V. Results analysis. Conclusions.

The objective of this research study is to analyse bioclimatic architecture, taking as a reference the work of Frank Lloyd Wright, and, specifically, the Jacobs I house as its most representative sample, to recover an alternative path of experimental architecture that has since fallen by the wayside.

The following conclusions need to be considered within their historical context. The bioclimatic strategies used by Wright in the Jacobs 1 House, in many cases inherited from ancient architectural traditions, represented an improvement in the thermal behaviour of the building. Considered a novelty in the 1930s North-American construction sector, most of them have been fully integrated into current bioclimatic architecture.

1. Housing in Frank Lloyd Wright's work. The *Usonian* House

A constructive analysis of single family housing from an environmental perspective proves that the work of Wright is evolutionary and always closely related to nature. The formalisation of his ideas is the result of decisions taken in his search for interior thermal comfort.

Thus, the basement, considered by Wright as a poorly ventilated, dimly-lit space without a specific use, disappears, bringing the house closer to the ground.

The attic also disappears and its spaces are transposed to the main floor; hence, the sloping roof becomes purposeless and is replaced by a flat roof, simplifying construction and providing horizontality to the house. Wright also introduced the ventilated flat roof in many of his projects.

In order to light up and properly ventilate the house, Wright creates numerous glazed facades with a variable orientation based on the climate and the situation of the house. These large transparent surfaces foster a connection between the interior spaces and nature outside/the exterior, nature. To encourage cross ventilation, Wright designs “L or T-shaped” or elongated floor plans, with fluid spaces that facilitate air circulation through facing/opposing walls and strategically-designed openings.

The kitchen and bathroom are placed next to each other, to share plumbing and electrical installations, and, usually in the centre of the house, not integrating the facade. In order to illuminate and ventilate these spaces in a natural way, Wright places the roof at a higher elevation introducing corridors of windows that permit the passage of light and the natural extraction of the foul air from the kitchen and bathroom.

As for the chimney, it is usually placed in the centre of the house in order to distribute the radiant heat to the rest of the premises and is built with materials with strong thermic inertia, which help adjust the outside temperature both in summer and in winter.

The *Gravity Heat* heating system has evolved through experimentation and thanks to technology, generating a comfortable environment due to its features.

In short, Wright's architecture is a consequence of decisions based on climate and environment with the objective of designing comfortable and habitable spaces. An analysis of his work reveals that he proposes different solutions for housing in function of climate and environment.

"Form and function are one" (Wright 1943).

El análisis realizado muestra que la obra de Wright merece su atención, no sólo por su calidad formal sino por su eficiencia desde una perspectiva medioambiental. La calidad espacial y formal de su obra es, en numerosas ocasiones, el resultado de una reflexión global junto a la preocupación por el confort interior teniendo en cuenta el entorno y la naturaleza.

The analysis/study carried out shows that Wright's work deserves attention, not only for its formal quality but its efficiency from an environmental perspective. The spatial and formal quality of his work is often the result of general reflection alongside a concern for interior comfort, taking into account nature and the surroundings.

Further to studying the architect's private housing work, the Jacobs I house has been selected as a model to prove the hypotheses elaborated in this research study, due to its simplicity, which is as constructive as it is functional in terms of organisation and environment. The bioclimatic design strategies which the architect used systematically throughout his career in his *Usonian* houses are implicit in the Jacobs I house, making it a typical model.

2. Analysis/Study of the bioclimatic strategies used by Frank Lloyd wright in the Single-family dwellings type. Analysis of the Jacobs I house.

2.1. Applied Methodology

The methodology used through the digital simulation of the building allows for an analysis of the influence of the design strategies in an independent manner while also taking into account the effects and repercussions/implications between them. For example, orientation and natural ventilation; the thermal inertia of the materials and their placement and orientation in the dwelling; and the design and presence of the cantilevers and orientation. And, of course, the surroundings, topography and morphology of the plot.

The evaluation and analysis methodology of bioclimatic strategies and interior thermal comfort in buildings whereby an in situ analysis would be difficult given their historic context or distant location have been carried out through digital simulation via present day tools.

2.2. Historical context.

Wright applied the principles of bioclimatic design without any other tool than common sense and his own experience, with an efficient result. Being unable to access Wright's archives, the author does not know if he carried out studies and calculations on solar orientation and sun exposure. The Jacobs I House, built in 1937, used materials with thermal U transmittance values well above those required today. In spite of this, as the obtained results prove, thanks to the bioclimatic strategies such as orientation and natural ventilation, the design of the cantilevers and optimization of the materials' thermal inertia, and taking into consideration the users' reactive and adaptive capacities to external thermal conditions, Wright achieved an improvement in interior temperatures in both winter and summer.

It should be noted that the study's compilation of historical data regarding house building is limited. The values of thermal U transmittance are illustrative and serve as a guide to place the envelope of the house within a range as well as to compare it with the values of current regulations.

The application of these concepts in today's house building, which employs more developed construction systems, would generate even better results than those analysed in terms of interior thermal comfort.

2.3. Digital energy simulation

The energy simulation allows for the quantification and assessment of the impact of the different architectural design elements on thermal interior comfort, by using the parameter of operative temperature. Through this tool, it has been proven that the strategies employed by Wright in his designs, and more concretely in the *Usonian* houses, especially the Jacobs I House, have a positive influence on thermal interior comfort.

- The analysis proves that the influence of orientation on operative temperature does not in itself imply a significant improvement in relation to the other orientations. Nevertheless, introducing the parameter of natural ventilation verifies that in summer the operative temperature of the house in its original state is cooler than others thanks to its natural ventilation, due to the selected orientation based on the direction of the winds in summer. Natural ventilation implies an improvement in conditions of comfort through a reduction of operative temperature in summer of up to 4.5°C, which translates to reductions in the use of mechanical air-conditioning and heating systems and a corresponding energy saving of up to 20% (according to information from IDAE 2005).
- It has been shown that the protection of the glass facades and the interior during the hours in which the sun hits the building in summer is a positive strategy. Through this analysis, it has been proven that this design element, so

characteristic of the *Wrightean* aesthetic, is the result of the architect's preoccupation with adequate interior comfort.

- The building employs different construction materials and systems according to location and orientation, proving through the results obtained that this strategy implies as good a thermal balance in summer as in winter. The dwelling with greater thermal inertia has better results in summer, but not in winter. It would be necessary to carry out annual studies in order to be able to determine if the building manages to maintain stable temperatures during the whole summer period when faced with high exterior temperatures, for example in the case of south exposed brick-walled bedrooms. This analysis may put into doubt the current, almost systematic, upsurge in buildings with high thermal inertia, proving that a balance between the use of materials and their placement can also bring favorable thermal conditions.

Through this analysis it is proven that the bioclimatic strategies used represent a positive influence on the operative temperature of the building. This influence, measured by differences of temperature, implies considerable energy saving. The application of these strategies in current architecture would as a consequence mean a reduction in energy consumption in the construction sector.

3. Influence of users' behaviour on thermal interior comfort

The analysis conducted showed positive results on the use of bioclimatic strategies employed by the architect. The simulation has factored in the users' actions in reaching and maintaining conditions for thermal interior comfort via, firstly, the chimney's functioning, programmed according to house occupancy, and, secondly, natural ventilation by means of a windows' opening schedule performed directly by the user. These two elements are essential for adding interior comfort to the house, and if the users do not take the required actions, comfort will not be reached.

3.1. Clothing index influence

Another parameter dependent from the users and related to comfort is the clothing index. Through the variation of the clothing index (clo) and its influence on the interior thermal comfort zone, when keeping the same interior climatic conditions obtained from the simulation of the Jacobs 1 House in its original state, it can be observed that the clothing index is a factor that has direct influence on the comfort range. Through the specific example of the Jacobs 1 House, it has been proven that changing the clothing index is a direct means of reaching interior comfort, both in summer and winter, without modifying the interior conditions. Another solution could consist of changing the interior climatic conditions through the use of artificial air-conditioning and heating systems, thus increasing energy consumption.

These are two different alternatives for reaching the comfort zone. Through the clothing index, an action directly taken by the user, both air-conditioning consumption in

summer and heating consumption in winter are reduced, with consequent energy savings.

3.2. Calculation methods of the interior thermal comfort index of the Jacobs I House

The results for the interior operative temperature obtained in the house during the extreme summer week seem to be, in principle, too high to consider it as comfortable (31.78°C in day 5 at 4pm). However, when applying the adaptive method for calculation of the thermal comfort index, it proves that the house fits the thermal comfort zone in summer according to ASHRAE-55 standards. The adaptive method for naturally ventilated buildings, which takes into account the users' capacity to adapt their clothing in accordance with the thermal conditions, allows for a broader comfort range. This method's employment can translate into a reduction in the level of comfort temperature of 1.5°C, with its corresponding energy savings (between 5 and 10% according to IDAE 2005 data). However, when applying the PMV calculation method, the result obtained is that the house is not within the comfort zone, implying that the use of a mechanical air-conditioning and heating system would be necessary to achieve it, with its subsequent energy consumption.

In light of the above, it can be deduced that the adaptive method, whose range of thermal comfort temperatures is more flexible, and is only applicable to naturally ventilated buildings, more naturally ventilated buildings should be designed. In order that these buildings achieve interior thermal comfort conditions, they need to be well designed, taking into account, as Wright did, the external climatic conditions. Today, there are sufficient tools and climatic data to be applied in architectural design. Furthermore, digital simulation software such as *Design Builder*, which inputs the location's climatic data, is a useful tool for this purpose.

4. Transposition to today's architecture.

The transposition proposed by this thesis is not a formal but rather an ideological one, related to the design process and approach to nature taken by Wright in his work; the knowledge of the surroundings, climate and materials. Design based on nature and trust in a more responsible society along with the support of technological development could be the way towards an architecture that challenges the current tendency of energy waste.

Facing climate change and slowing its negative consequences for the planet is a necessity. Urgent action is required in order to reduce the ecological footprint and one way to do this is through the impact that architecture has over nature.

Most of the energy and CO₂ emissions in the building sector are generated by the use of air-conditioning and heating systems to adapt the interior thermal conditions in buildings. Through the study conducted, it has been proven that such internal thermal conditions are achievable, and can be improved through the design of bioclimatic strategies based on both climate and elements from nature, which can generate energy

savings when implemented alongside the adequate materials, thus reducing the use of mechanical air-conditioning and heating systems.

Numerous discussions, regulations and legal directives at both national and European level are being developed with this objective. However, this research study seeks to demonstrate that there are other more easily implemented solutions.

The architectural process of Wright can serve as a reference for today's architecture. His love for Nature acts as a starting point in his work. The environment is the wealth of humankind, as *Charles Caccia* felt obliged to point out in 1987 at the *World Commission on Environment and Development*:

“How long can we go on and safely pretend that the environment is not the economy”¹¹⁴

A hundred years ago, Wright employed a bioclimatic strategy based on common sense and his own architectural experience. Today, an architectural design that applies bioclimatic strategies is considered to be innovative and the label of sustainable or ecological architecture has become a marketing tool. When it should really be a key principle in modern architecture.

To reiterate, the following ideas should form part of every architectural process:

- Love for Nature
- Knowledge of the surroundings, climate and topography in order to obtain their maximum benefit.
- Building with materials from the region, whenever possible, thus minimizing the ecological footprint that results from the fabrication and transportation of said materials to the construction site.
- Simplicity, both constructive and formal, tailored to the building's functionality.
- Building for long-term occupational use.
- Consideration of the adaptive and reactive capacity of the user to the changing climatic conditions as opposed to the indiscriminate use of the air-conditioning and heating mechanical systems.

Integrating this list of ideas should in no way impose limitations on the architect's realisation, whose concrete identity will be reflected in the formal solution. As Louis Sullivan said, *lieber meister*¹¹⁵:

¹¹⁴ Ver nota 8.

¹¹⁵ Ver nota 112.

“our architecture reflects us truly as a mirror”¹¹⁶

Wright defined organic architecture as that which was suitable for the place, people and period, and was designed accordingly. One must go beyond the mere objective of environmental conservation, which is one of the goals of ecological and sustainable architecture, and imbue the architecture with love and a respect for the Nature that we are part of, with the aim of achieving happiness through this and, as a logical consequence of this symbiotic relationship, preservation of the environment.

¹¹⁶ Traducción: “Nuestra arquitectura nos refleja.”

Futuras líneas de Investigación

La recopilación de datos constructivos y la toma de medidas in-situ a través de una visita a la vivienda Jacobs I, corroboraría los datos obtenidos a través del análisis constructivo y la simulación digital realizada.

Una vez analizada la obra del arquitecto americano como referencia de arquitectura bioclimática tomando como modelo la casa Jacobs I, y demostrado cómo las estrategias empleadas representan ventajas remarcables sobre el confort térmico interior, sería interesante analizar la posible aplicación de una serie de estrategias que supongan una mejora en el comportamiento térmico del edificio. Estas mejoras podrían consistir principalmente a mejorar las características térmicas de la envolvente, añadiendo aislamiento térmico en la cubierta, que se ha detectado como la parte más débil de la vivienda, y en el resto de la envolvente. Podría realizarse también un análisis sobre la mejora de la eficiencia de la instalación de suelo radiante. Frank Lloyd Wright, colocó las tuberías embebidas en la capa de enchado, y la experiencia de este sistema demuestra que se mejora la eficiencia situando el sistema de tuberías bien en la solera o sobre ésta.

Una vez definida y analizada la vivienda mejorada, podría llevarse a cabo un análisis de la huella de carbono, de la energía gris implícita y del análisis del ciclo de vida de las dos viviendas, es decir, de la casa Jacobs I en su estado original y de la casa mejorada. Puesto que la vivienda original, siguiendo la ideología de las casas *usonianas*, está construida aplicando la economía de materiales, poco manufacturados... se esperaría obtener una huella de carbono reducida en relación a las viviendas contemporáneas.

Una comparación en términos de huella de carbono y energía gris embebida de las dos viviendas sería interesante en relación a su calidad medioambiental y confort térmico interior. Esta comparación podría obtener resultados y conclusiones muy interesantes que permitan valorar y determinar un equilibrio entre confort térmico interior y huella de carbono y energía gris. Dónde se encuentra el límite del empleo de la tecnología poder lograr un confort térmico en el interior de los edificios aplicando las estrategias empleadas por el arquitecto americano, teniendo en cuenta, por supuesto, la capacidad de reacción y de adaptación de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Aalto Alvar. 2005. Houses, Rakennustieto

Aberdeen Group, 1988, Publication nº M880384. Citando a E. Thomas Casey de Taliesin Associated Architects, Scottsdale Arizona and Spring Green Wisconsin.

Agencia Estatal de Meteorología. Disponible: www.aemet.es. Consulta realizada el 15-04-2015.

Aitken Donald.1992-93. *The "Solar Hemicicle" Revisited: It's still Showing the Way*, Wisconsin Academy Review, 39, No. 1, 33-37

Albatici, Rossano y Francesco Passerini. 2011. Bioclimatic Design of Buildings Considering Heating Requirements in Italian Climatic Conditions. A Simplified Approach. *Building and Environment* 46 (8). Elsevier Ltd: 1624–31. doi:10.1016/j.buildenv.2011.01.028.

Alofsin, Anthony; Cronon, William; Frampton, Kenneth; Riley, Terence; Wright, Gwendolyn. 1994. *Frank Lloyd Wright Architect*. The Museum of Modern Art/ New York.

Ambawrish, Pati. *Heliothermic planning*. Department of Architecture , Jadavpur University.

Andreu, Isabel Carmona y Tadj Oreszczyn. 2004. Architects Need Environmental Feedback. *Building Research & Information* 32 (4): 313–28. doi:10.1080/09613210410001679857.

Angen, Courtney. 2013. *Concept and Technique : How Traditional Japanese Architecture Can Contribute to Contemporary Sustainable Design Practices*.

Aries, Myriam B. C. y Bluysen, Philomena M. 2009. Climate change consequences to the indoor environment. *Building Physics and Systems*.

[ARTE] Architecture Collection - Episode 07: F.L.Wright - Johnson Wax Administrative Building

ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004

Autodesk Ecotect Analysis. [Online] Autodesk, Inc.
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=12602821>

Automatic, Usonian. 1955. “Usonian Automatic: Wright’s Concrete Masonry.”

Balter Julieta. 2011. Relación e impacto de la ciudad de mendoza y la arquitectura en altura construida a partir del siglo xx. Universidad Internacional de Andalucía.

Banham, Reyner. 1969. *The architecture of the well-tempered environment*, p. 70, London: The Architectural Press, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-85139-074-1.50009-1>.

Banham, Reyner.1984. *L'Architecture de l'environnement bien tempéré*, University of Chicago Press.

Bekkouche, S.M.A.; Benouaz, T.; Cherier, M.K.; Hamdani, M.; Benamrane, N. y Yaiche, M.R. 2014. Thermal Resistances of Local Building Materials and Their Effect upon the Interior Temperatures Case of a Building Located in Ghardaïa Region. *Construction and Building Materials* 52 (February). Elsevier Ltd: 59–70. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.10.052.

Beltrán, M. A.; García, J.; Dufrasnes, E. 2015. La casa Jacobs I de Frank Lloyd Wight. Un hito en la arquitectura bioclimática. En *Noveno Congreso Nacional y Primero Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción* (pp. 199-209). Segovia: Instituto Juan de Herrera.

Blasco Lucas, I.; Albarracín, O. y Hoesé, L. 2000. Bioclimatic procedure for Buildings Evaluation. *World Renewable Energy Congress VI (WREC2000)*.1854–57.

Bondars, Edgars. 2013. *Implementing Bioclimatic Design in Sustainable Architectural Practice*. 84–86. doi:10.7250/aup.2013.011.

Boulter House: Dual-View Imaging Report de la Boulter House (Homes +, Inc. 2007)

Bowen, Ted Smalley. 2006. *Rights and Wrongs of a Wright renovation* Ownwres of Frank Lloyd Wright homes are striving to honour his "green" legacy, finds Ted Smalley Bowen, Financial Times.

Brager Gail S.; de Dear Richard J. 1997. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*. Vol. 27, pp. 83-96

Bravo, Gaudy y Eduardo González. 2013. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Spaces and under Indirect Evaporative Passive Cooling Conditions in Hot-humid Climate. *Energy and Buildings* 63 (August): 79–86. doi:10.1016/j.enbuild.2013.03.007.

Brooks, H. Allen. 2011. Frank Lloyd Wright and the Destruction of the Box. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 38 (1): 7–14.

Brundtland, H. 1987. *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development* (United Nations General Assembly, The Brundtland Commission) Oxford University Press, Oxford,

Buchanan, Peter. 2012. The Big Rethink Learning from four modern masters. *Architectural Review*. Vol 231. 83-95.

Building, Modernising, and Energy Codes. 2013. Energy Codes. *ASHRAE Journal* 55 (August).

Building Energy Software Tools Directory. Building Technologies Program. [Online] U.S. Department of Energy. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

Building Energy Software Tools Directory. Building Technologies Program. [Online] U.S. Department of Energy. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

Burgos Flores, Johnny Francisco. 1988. *Arquitectura y Pertinencia : Modernidad y Vanguardia*.

Burley, Jon; Deyoung, Gina; Partin, Shawn y Rokos Jason. 2011. Reinventing Detroit: Reclaiming Grayfields—New Metrics in Evaluating Urban Environments. *Challenges* 2 (4): 45–54. doi:10.3390/challe2040045.

Burns, Robert. 2000. *Frank Lloyd Wright in the 21 st century*, National Forum, vol 80 No 3.

Caccia, Charles. 1986. Member of Parliament, House of Commons, WCED Public Hearing Ottawa

Calatrava Escobar, Juan A. 1991. Arquitectura y Naturaleza. El mito de la cabaña primitiva en la Teoría de la Ilustración. *Gaceta de Antropología*. 8. Artículo 9

Callicott J. Baird y Mc Rae James. 2017. *Japanese Environmental Philosophy*, Oxford University Press.

Cañas, Ignacio y Silvia Martín. 2004. Recovery of Spanish Vernacular Construction as a Model of Bioclimatic Architecture. *Building and Environment* 39 (12): 1477–95. doi:10.1016/j.buildenv.2004.04.007.

Cappelletti, Francesca; Prada, Alessandro; Romagnoni, Piercarlo y Gasparella, Andrea. 2014. Passive Performance of Glazed Components in Heating and Cooling of an Open-Space Office under Controlled Indoor Thermal Comfort. *Building and Environment* 72 (February). Elsevier Ltd: 131–44. doi:10.1016/j.buildenv.2013.10.022.

Castejón Vilella, E. 1983. NTP 74: *Confort térmico – Método de Fanger para su evaluación*. Instituto de Trabajo y Asuntos Sociales España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Chen, Z.D.; P. Bandopadhyay; J. Halldorsson; C. Byrjalsen; P. Heiselberg, y Y. Li. 2003. An Experimental Investigation of a Solar Chimney Model with Uniform Wall Heat Flux. *Building and Environment* 38 (7): 893–906. doi:10.1016/S0360-1323(03)00057-X.

Chesné, Lou. 2012. *Vers Une Nouvelle Méthodologie de Conception Des Bâtiments, Basée Sur Leurs Performances Bioclimatiques*. 1–217. <http://www.theses.fr/2012ISAL0092>.

Chusid, Jeffrey M. 2011. *Preserving the Textile Block at Florida Southern College*.

Citherlet S. 2001 *Tesis Towards the Holistic Assessment of Building Performed Based on an Integrated Simulation Approach*. Swiss Federal Institute of Technology (EPFL).

Clair, Jeffrey St. 2012. <http://www.counterpunch.org/2012/08/03/the-fbi-vs-frank-lloyd-wright/> Weekend Edition August 3-5, 2012

Coch Helena. 1998. Chapter 4- Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2, pp 67-87

Cook, Jeffrey. 1996. Architecture Indigenous to Extreme Climates. *Energy and Buildings*. 23: 277-291.

Cooke, Philip. 2012. Green Design Aesthetics: Ten Principles. *City, Culture and Society* 3 (4): 293–302. doi:10.1016/j.ccs.2012.11.001.

Corbella, O.D.; y M.A.A.A. Magalhães. 2008. Conceptual Differences between the Bioclimatic Urbanism for Europe and for the Tropical Humid Climate. *Renewable Energy* 33 (5): 1019–23. doi:10.1016/j.renene.2007.04.004.

Courard, L., Gillard, A.; Darimont, A.; Bleus, J.M. y Paquet, P. 2012. Pathologies of Concrete in Saint-Vincent Neo-Byzantine Church and Pauchot Reinforced Artificial Stone. *Construction and Building Materials* 34 (September). Elsevier Ltd: 201–10. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.070.

Crawley, Drury B, et al. 2001. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, Vol. 33, pp. 319-331.

Crawley, Drury, et al. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43: 661-673, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>.

Cronon William. 1994. Frank Lloyd Wright architect, Inconstant Unity: The Passion of Frank Lloyd Wright, Museum of Modern Art. New York

DesignBuilder web site. [Online] DesignBuilder Software Ltd. <http://www.designbuilder.co.uk/>.

Deuble, Max Paul y Richard John de Dear. 2012. Green Occupants for Green Buildings: The Missing Link? *Building and Environment* 56 (October). Elsevier Ltd: 21–27. doi:10.1016/j.buildenv.2012.02.029.

Directiva Europea de Eficiencia Energética 27/2012/ue 2016.

DOE-2 web site. [Online] James J. Hirsch & Associates. <http://www.doe2.com/>.

DOE-2. The Simulation Research Group. [Online] Lawrence Berkeley National Laboratory. <http://gundog.lbl.gov/>.

Douglass, CD. 2010. “Instructional Modules Demonstrating Building Energy Analysis Using a Building Information Model.” <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/18219>.

Douglass, C. D. (2010). Tesis: Instructional Modules Demonstrating Building Energy Analysis Using a Building Information Model. Urbana: Universidad de Illinois

Duforestel Thierry, Bouia Hassan, et al. 2012. *Projet HABISOL-VALERIE Résumé*. Agence Nationale de la Recherche.

Dufasnes, Emmanuel. 2010. *Approche systemique de l'évaluation et du management des quartiers durables*.

Escoda Pastor, Carmen. Lugar , dibujo y arquitectura en Wright. *Expresión Gráfica Arquitectónica*. 132-139.

EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program.

EnergyPlus: <https://energyplus.net/weather>, consulta de 01/06/2017

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031>

Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort*. Danish Technical Press.

Fathy Hassan. 1986. *Natural Energy and vernacular architecture*. University of Chicago Press

Farmer, John. 1996. *Green Shift. Towards a Green Sensibility in Architecture*. Butterworth-Heinemann, Londres.

Farr, Finis. 1961. Frank Lloyd Wright: Defiant Genius. *The Years of Glory*.

Farr, Finis. 1961. Frank Lloyd Wright: Defiant Genius. *Years of Trial*.

Fernández-González, Alfredo. 2007. Analysis of the Thermal Performance and Comfort Conditions Produced by Five Different Passive Solar Heating Strategies in the United States Midwest. *Solar Energy* 81 (5): 581–93. doi:10.1016/j.solener.2006.09.010.

Fieldson, Rosi. 2004. *Architecture & Environmentalism : Movements & Theory in Practice*. 6 (1): 20–33.

Frank Lloyd Wright. In the Cause of Architecture: The Meaning of Materials. 1928. *Architectural Record*.

Frosch, William A. 2005. Frank Lloyd Wright. *The American Journal of Psychiatry*; 162, 12; ProQuest Research Library pg. 2403

Gaitani, N.; Mihalakakou, G. y Santamouris, M. 2007. On the Use of Bioclimatic Architecture Principles in Order to Improve Thermal Comfort Conditions in Outdoor Spaces. *Building and Environment* 42 (1): 317–24. doi:10.1016/j.buildenv.2005.08.018.

Gallo, Cettina. 1998. Chapter 5—The Utilization of Microclimate Elements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2 (1–2): 89–114. doi:10.1016/S1364-0321(98)00013-6.

García, J. (2010). ¿Sostenibilidad?... o Simplemente Sensatez. *Informes de la Construcción*, 62 (517): 4, doi: <https://doi.org/10.3989/ic.2010.v62.i517>.

Geva, A. 2012. *Frank Lloyd Wright's Sacred Architecture. Faith, Form and Building Technology*, Londres y Nueva York: Routledge.

Gillet, A C. 2000. *Renewable energy implementation in bioclimatic architecture. Twenty years own experience in Belgium*. 594–96.

Givoni, Baruch. 1998. “Effectiveness of Mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures. Part I: 1993 Experimental Periods.” *Energy and Buildings* 28 (1): 25–32. doi:10.1016/S0378-7788(97)00056-X.

Givoni, Baruch. 2011. Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85: 1692-1726, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.003>.

Givoni, Baruch. 2007. Cooled Soil as a Cooling Source for Buildings. *Solar Energy* 81 (3): 316–28. doi:10.1016/j.solener.2006.07.004.

Godoy Muñoz, Alfonso. 2012. *El Confort Térmico Adaptativo: Aplicación En La Edificación En España*. 64.

Gómez-Azpeitia, Gabriel; Bojórquez Morales, Gonzalo y Ruiz Torres, Raúl Pavel. 2007. El Confort Térmico: Dos Enfoques Teóricos enfrentados. *Revista de Investigación Científica en Arquitectura*. Palapa 2 (1): 45–57.

Gordon, Jill. 2005. Arts and Humanities. *Medical Education* 39 (10): 976–77. doi:10.1111/j.1365-2929.2005.02259.x.

Gou, Zhonghua; Prasad Deo y Siu-Yu Lau Stephen. 2013. Are Green Buildings More Satisfactory and Comfortable? *Habitat International* 39. Elsevier Ltd: 156–61. doi:10.1016/j.habitatint.2012.12.007.

Granadeiro, Vasco; Duarte, José P.; Correia, João R. y Leal, Vítor M.S. 2013. Building Envelope Shape Design in Early Stages of the Design Process: Integrating Architectural Design Systems and Energy Simulation. *Automation in Construction* 32 (July). Elsevier B.V.: 196–209. doi:10.1016/j.autcon.2012.12.003.

Griggs, David J., Noguer, Maria. 2002. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Weather* 57 (8). Cambridge University Press: 267–69. doi:10.1256/004316502320517344.

Guimarães Marcos. 2007. Bioclimatism and Space Use in Alvar Aalto 's Summer House. *Virtual Conference on Sustainable Architectural Design and Urban Planning*

Gail, Satler. 1999. *The Architecture of Frank Lloyd Wright : A Global View*. New College of Hofstra University

Hahn, Tom. Green Building Practices. www.scottsdaleaz.gov/greenbuilding

Healy, S. 2010. Cool Biz: an STS Analysis. Paper presented at the annual meeting of the 4S Annual Meeting - Abstract and Session Submissions, Komaba I Campus, University of Tokyo, Tokyo, Japan. 2014-11-27 from http://citation.allacademic.com/meta/p420855_index.html

Herbetholz, Barbara. 1997. *Taliesin West and Frank Lloyd Wright*, Arts and Activities

Herrera Velazco, Rodrigo. 2011. *Morphing Arquitectónico : Transformaciones Entre Las Casas Usonianas de Frank Lloyd Wright*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Hinman, Kristen. 2011. America's Greatest Work of Architecture.

Historic designation study report American System Built Homes Historic District 1916. jschle/word/study Reports/ American system/01/08/01.

Holopainen, Riikka; Tuomaala, Pekka; Hernandez, Patxi; Häkkinen, Tarja; Piira, Kalevi y Piippo, Jouko. 2014. Comfort Assessment in the Context of Sustainable Buildings: Comparison of Simplified and Detailed Human Thermal Sensation Methods. *Building and Environment* 71 (January). Elsevier Ltd: 60–70. doi:10.1016/j.buildenv.2013.09.009.

Hong, Tianzhen, Chou, S.K. and Bong, T.Y. 2000. Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*. Vol. 35, pp. 347-361

Houghten, FC; Yagloglou, C. 1923. Determination of the Comfort Zone. *ASHVE Trans* 29 29: 165–76. www.innova.dk.

Hoyt Tyler, Schiavon Stefano, Piccioli Alberto, Moon Dustin, and Steinfeld Kyle, 2013, CBE Thermal Comfort Tool.

Center for the Built Environment, University of California Berkeley,

<http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>

Huaylla, Fredy; Gutarra, Abel y Saavedra, Gonzalo. 2009. *Arquitectura Bioclimática con Énfasis En Viviendas Altoandinas*. Centro de Energías Renovables

<http://www.treehugger.com/green-architecture/shigeru-ban-wins-pritzker-prize-architectures-top-award.html> (03-06-2014)

Iffrig Andrée. 2013. *Frank Lloyd Wright's Robie House in Chicago* <http://suite101.com/a/frank-lloyd-wrights-robie-house-in-chicago-a104255>, 26-11-2013,

IMAGES. 1969. "Frank Lloyd Wright." *Design Quarterly*, no. 74: 13–15.

International Energy Agency 2015, Comisión Europea 2012

Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía. 2015. www.idae.es

Jabareen, Y. R. 2006. Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts. *Journal of Planning Education and Research* 26 (1): 38–52. doi:10.1177/0739456X05285119.

Jacobs, Herbert. 1978. *Building with Frank Lloyd Wright: An Illustrated Memoir*. San Francisco: Chronicle Books.

Jiménez, I. 2011. Frank Lloyd Wright: A Precursor of Sustainable Architecture. *Americas, Organisation of the American States*.

Godfaurd, John; Clements-Croome, Derek and Jeronimidis George. 2005. Sustainable Building Solutions: A Review of Lessons from the Natural World. *Building and Environment* 40 (3): 319–28. doi:10.1016/j.buildenv.2004.05.011.

Kéré, Francis. 1998. Harnessing Traditional Building Techniques to Produce Sustainable Architecture, 37–45.

Kim, Jeong Tai y Marija S. Todorovic. 2013. Tuning Control of Buildings Glazing's Transmittance Dependence on the Solar Radiation Wavelength to Optimize Daylighting and Building's Energy Efficiency. *Energy and Buildings* 63 (August). Elsevier B.V.: 108–18. doi:10.1016/j.enbuild.2013.03.036.

Kim, Mi Jeong; Myoung Won Oh y Jeong Tai Kim. 2013. A Method for Evaluating the Performance of Green Buildings with a Focus on User Experience. *Energy and Buildings* 66 (November). Elsevier B.V.: 203–10. doi:10.1016/j.enbuild.2013.07.049.

- Kimura, Ken-ichi. 2000. Solar Architecture for the Happiness of Mankind. *Solar Energy*. 67: 169–79.
- Krause, Linda R. 2011. Frank Lloyd Wright: Organic Architecture for the 21st Century. *Journal of Architectural Education* 65 (1): 82–84. doi:10.1111/j.1531-314X.2011.01165.x.
- Krüger, Eduardo y Baruch, Givoni. 2004. Predicting Thermal Performance in Occupied Dwellings. *Energy and Buildings* 36 (3): 301–7. doi:10.1016/j.enbuild.2003.12.011.
- Krüger, Eduardo y Baruch Givoni. 2008. Thermal Monitoring and Indoor Temperature Predictions in a Passive Solar Building in an Arid Environment. *Building and Environment* 43 (11): 1792–1804. doi:10.1016/j.buildenv.2007.10.019.
- Krüger, Eduardo; González Cruz, Eduardo y Baruch Givoni. 2010. Effectiveness of Indirect Evaporative Cooling and Thermal Mass in a Hot Arid Climate. *Building and Environment* 45 (6): 1422–33. doi:10.1016/j.buildenv.2009.12.005.
- Kumar Sanjay; Sinha S y Kumar N. 1996. Experimental Investigation of Solar Chimney assisted Bioclimatic Architecture. *Energy Convers. Mgmt.* Vol. 39, No. 5/6 pp. 441-444
- Laugier, Marc-Antoine. 1753. *La Cabaña Primitiva. Essai sur L'Architecture*. Paris
- Larasati Zr Dewi, Sahid Mochtar. 2013. Application of Bioclimatic Parameter as Sustainability Approach on Multi-Story Building Design in Tropical Area. *Procedia Environmental Sciences* 17 (January). Elsevier B.V.: 822–30. doi:10.1016/j.proenv.2013.02.100.
- Leaman A. 2005. *Post occupancy evaluation, Building Use Studies*, www.usablebuildings.co.uk)
- León, Juan. 2013. *Parámetros de Diseño de La Chimenea Solar*. Escuela Politécnica Superior de Edificaciones de Barcelona.
- Li, Danny H.W.; Yang, Liu y Lam, Joseph C. 2013. Zero Energy Buildings and Sustainable Development Implications – A Review. *Energy* 54 (June). Elsevier Ltd: 1–10. doi:10.1016/j.energy.2013.01.070.
- Library, Fine Arts. 2012. Frank Lloyd Wright Archives to Join Collections of Columbia University and The Museum of Modern Art in New York.
- Lin Yuang. 1991. Karsten Harries' Natural Symbols and Frank Lloyd Wright's Natural Houses. *Environmental & Architectural Phenomenology Newsletter*
- López Asiain, Jaime 2001. “Arquitectura, Ciudad, Medioambiente”. Universidad de Sevilla.
- Lubow, Arthur. 2009. The triumph of Frank Lloyd Wright. *Smithsonian*. Vol 40.3, 52-61.
- Maciel, Alexandra A., Ford, Brian y Lamberts, Roberto. 2007. Main Influences on the Design Philosophy and Knowledge Basis to Bioclimatic Integration into Architectural design—The Example of Best Practices. *Building and Environment* 42 (10): 3762–73. doi:10.1016/j.buildenv.2006.07.041.

Fernández, Aurora y de Fontcuberta, Luis. 2012. Marcel Brauer y el sueño de la Cabaña Americana. *Revista de Arquitectura*. 14, 51-59

Maddex Diane. 2003. *Wright Sized Houses, Frank Lloyd Wright's Solutions for making small houses fell big*. Harry N. Abrams Inc. Publishers.

Martín-Sáiz, Diego. 2013. Jaroslav J. Polivka y el Guggenheim Museum de New York. *Informes de la Construcción*. Vol. 65, 531, 261-274. doi: 10.3989/ic.12.036

Martín-Sáiz, Diego. 2011. El Guggenheim Museum de New York. Interpretación del papel de la estructura a través de la colaboración entre Frank Lloyd Wright y Jaroslav J. Polivka. Departament d'Estructures a l'Arquitectura, ETSAV. Universitat Politècnica de Catalunya.

Marshall, Charles. 2011. When Frank met Stanley. An Aging Architect , a Young Retailer , and a Texas Dwelling. *Legacies*. 36–50.

Martín-Sáiz, D. 2013. “Jaroslav J. Polivka Y El Guggenheim Museum de New York.” *Informes de La Construcción* 65 (531): 261–74. doi:10.3989/ic.12.036.

Mazouz, S. y Zerouala, M. S. 2001. The Integration of Environmental Variables in the Process of Architectural Design. The Contribution of Expert Systems. *Energy and Buildings*. 33: 699–710.

Mc Carter, Robert. 2003. *The Other Tradition of American Architecture: Frank Lloyd Wright and Louis I. Kahn* . Vol 83: 24-30

Mc Culley, M. T.; O' Meara, R. y Pederson, C. O. Energy Monitoring Results of a Superinsulated Passive Solar Building. 928-948.

McKown, David L. 1978. Frank Lloyd Wright's Masterpiece. *The Saturday Evening Post*.

MEDDE. 2014. “Plan D’action de La France En Matière D’efficacité Énergétique - 2014,” 117. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/0378_Annexe_1_PNAEE_.pdf.

Miller, Michelle. "AD Classics: SC Johnson Wax Research Tower / Frank Lloyd Wright" 08 Sep 2014. *ArchDaily*. Accessed 16 Feb 2015. <http://www.archdaily.com/?p=544911>

Ministerio de Fomento (2016) *Código Técnico de la Edificación Documento Básico Ahorro de Energía*.

Moonen, Peter; Defraeye, Thijs; Dorer, Viktor; Blocken, Bert y Carmeliet, Jan. 2012. Urban Physics: Effect of the Micro-Climate on Comfort, Health and Energy Demand. *Frontiers of Architectural Research* 1 (3). Elsevier: 197–228. doi:10.1016/j.foar.2012.05.002.

Moore, Betty. 2008. Citado en <http://www.pdonline.com/courses/c683/c683slideshow.pdf>

Neila González, F. J. 2004. *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid. Munilla- Iería.

Nematchoua, Modeste Kameni, René Tchinda, and José a. Orosa. 2014. Thermal Comfort and Energy Consumption in Modern versus Traditional Buildings in Cameroon: A Questionnaire-

Based Statistical Study. *Applied Energy* 114 (February). Elsevier Ltd: 687–99. doi:10.1016/j.apenergy.2013.10.036.

Nicol, J. Fergus y Wilson, Mike. 2010. An Overview of the European Standard EN 15251. *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*. no. April: 9–11. <http://nceub.commoncense.info/uploads/16-01-02-Nicol.pdf>.

Olesen, Bjarne W. 1982. “Thermal Comfort. *Technical Review - Bruel & Kjaer* 2 (2): 47. <http://www.bksv.co.uk/doc/TechnicalReview1982-2.pdf>.

Olgyay, Victor. 1963. *Design with climate. Bioclimate approach to architectural regionalism*. New York.

Olgyay, Victor y Herdt, Julee. 2004. The Application of Ecosystems Services Criteria for Green Building Assessment. *Solar Energy* 77 (4): 389–98. doi:10.1016/j.solener.2004.01.011.

Oliver, P. 2003. *Dwellings*. London: Phaidon Press. ISBN 0-7148-4202-8.

Ostwald, Michael J. y Dawes, Michael. 2013. Prospect-Refuge Patterns in Frank Lloyd Wright's Prairie Houses: Using Isovist Fields to Examine the Evidence. *Journal of Space Syntax*. Vol 4, 136-159.

Oxman, Neri. *Pavane for the Well-Tempered Typology*.

Pfeiffer, Bruce Brooks. 2006. *The Essential Frank Lloyd Wright*. Princeton University Press.

Praznik, Miha; Butala, Vincenc y Zbašnik Senegačnik, Martina. 2013. Simplified Evaluation Method for Energy Efficiency in Single-Family Houses Using Key Quality Parameters. *Energy and Buildings* 67 (December): 489–99. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.045.

Lilek, Michael. 2005. *The American System-Built Homes in Milwaukee, Wisconsin: Frank Lloyd Wright's earliest system of low-cost housing*.

Real Decreto 1027/2007, *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE) Boletín Oficial del Estado, nº 207, España.

Règlementation Thermique (RTE). 2012. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Requena-Ruiz, Ignacio. 2012. Bioclimatismo En La Arquitectura de Le Corbusier: El Palacio de Los Hilanderos. *Informes de La Construcción* 64 (528): 549–62. doi:10.3989/ic.11.121.

Requena-Ruiz Ignacio. 2011. Tesis *Arquitectura Adaptada al Clima en el Movimiento Moderno: Le Corbusier (1930-1960)*. Universidad de Alicante

Requena-Ruiz, Ignacio. *Medio ambiente y modernidad en la obra de le corbusier a través del dibujo*. Expresión Gráfica Arquitectónica. 246-255.

Requena-Ruiz, Ignacio. 2016. Building Artificial Climates. Thermal control and comfort in Modern Architecture (1930-1960). *Ambiances [Online], Ambiance and history of architecture: the built environment in our sensory experience and imagination*.

Rivas-Martínez, Salvador. *Clasificación Bioclimática de la Tierra*, UCM, Madrid, 2004

del Río, M.; Salto Weis I.; Izquierdo, P. 2010. Sustainable Construction: Construction and Demolition Waste Reconsidered. *Waste Management & Research*, 28 n° 2:118-129, doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X09103841>.

Saá, C., J.L. Míguez, J.C. Morán, J.a. Vilán, M.L. Lago, and R. Comesaña. 2012. A Study of the Influence of Solar Radiation and Humidity in a Bioclimatic Traditional Galician Agricultural Dry Storage Structure (Horreo). *Energy and Buildings* 55 (December): 109–17. doi:10.1016/j.enbuild.2012.05.020.

Sabol, L. 2008. Measuring Sustainability for Existing Buildings. *IFMA World Workplace*. Dallas: Design + Construction Strategies.

Sacriste Eduardo, 1976. *Frank Lloyd Wright "Usonia"*. Editorial Librería Técnica.

Sakonidou, E.P.; Karapantsios, T.D.; Balouktsis, A.I. y Chassapis, D. 2008. Modeling of the Optimum Tilt of a Solar Chimney for Maximum Air Flow. *Solar Energy* 82 (1): 80–94. doi:10.1016/j.solener.2007.03.001.

Sala, Marco. 1998. Technology for modern architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* . 2. 189-234.

Santamouris, Mattheos, and Dionysia Kolokotsa. 2013. “Passive Cooling Dissipation Techniques for Buildings and Other Structures: The State of the Art.” *Energy and Buildings* 57 (February). Elsevier B.V.: 74–94. doi:10.1016/j.enbuild.2012.11.002.

Schiler, M., Brahmabhatt. S. (2006, 6-8 septiembre). Thermal Comfort in a Sustainable House by Frank Lloyd Wright. En *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Ginebra: Universidad de Ginebra.

Sert, Josep Lluís. 1982. publicado en Una arquitectura del Clima: Josep Lluís Sert 2015

Sheldon, Marc Hill. 2014. *An Analysis of the “Learn by Doing” Approach as Evidenced Through an Examination of the Life of Frank Lloyd Wright*. College of Education and Leadership Cardinal Stritch University

Singh, Manoj Kumar; Mahapatra, Sadhan y Atreya, S.K. 2009. Bioclimatism and Vernacular Architecture of North-East India. *Building and Environment* 44 (5). Elsevier Ltd: 878–88. doi:10.1016/j.buildenv.2008.06.008.

Siry, J. M. (2013). Frank Lloyd Wright's innovative approach to environmental control in his buildings for the S. C. Johnson Company. *Construction History*, 28, No 1: 141-164.

Spangenberg, Joachim H. 2002. Environmental Space and the Prism of Sustainability: Frameworks for Indicators Measuring Sustainable Development. *Ecological Indicators* 2 (3): 295–309. doi:10.1016/S1470-160X(02)00065-1.

Spencer, Brian A.; Roth, Robert y Prozzillo, Fred. 2013. Energizing Taliesin West. *Taliesin Fellows*.

Stavarakakis, G.M.; Zervas, P.L.; Sarimveis, H. y Markatos, N.C. 2012. Optimization of Window-Openings Design for Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings. *Applied Mathematical Modelling* 36 (1). Elsevier Inc.: 193–211. doi:10.1016/j.apm.2011.05.052.

Stojic, Jasmina y Stankovic, Danica. 2009. Bioclimatic Underground Architecture: Development and Principles. *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering* 7 (2): 135–44. doi:10.2298/FUACE0902135S.

Storrer, W. A. [1993] 1966. *The Frank Lloyd Wright Companion*, The University of Chicago Press

Sturgeon, A.; Porges, M. 1997-1998. *The Vital Signs Case Study- Building with Frank Lloyd Wright*. Milwaukee: Universidad de Wisconsin

Suk, Jaeyong y Schiler Marc. 2006. *Thermal comfort performance tests of USC' three libraries using dataloggers*. School of Architecture University of Southern California

Taleghani, Mohammad; Tenpierik, Martin; Kurvers, Stanley y van den Dobbelen, Andy. 2013. A Review into Thermal Comfort in Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (October). Elsevier: 201–15. doi:10.1016/j.rser.2013.05.050.

The Tracy House, design by Frank Lloyd Wright, 1955. Autor desconocido.

Tzikopoulos, A.F.; Karatza, M.C.; y Paravantis, J.A. 2005. Modeling Energy Efficiency of Bioclimatic Buildings. *Energy and Buildings* 37 (5): 529–44. doi:10.1016/j.enbuild.2004.09.002.

UNESCO. Disponible: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5249/>. Consulta realizada el 20-06-2015.

United States Department of the Interior, National Historic Landmark Nomination. (2003). *National Register of Historic Places Registration Form: Jacobs, Herbert and Katherine, First House*. Washington DC: National Park Service.

United States Department of the Interior, National Historic Landmark Nomination. (2003). *National Register of Historic Places Registration Form: Jacobs, Herbert and Katherine, Second House*. Washington DC: National Park Service.

Utaberta, N.; Spalie, N.; Tahir, M.M. y Abdullah, N.A.G. 2011. Redefining Library Learning Facilities in Malaysia: Lesson from Frank Lloyd Wright Sustainable Approach in Spatial and Landscape Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 15 (January). Elsevier B.V.: 3328–33. doi:10.1016/j.sbspro.2011.04.294.

Velasco Roldan, Luis. 2009. El Movimiento Del Aire Como Condicionante de Diseño Arquitectónico.

Vissilia, A.M. 2009. Bioclimatic Lessons from James C. Rose's Architecture. *Building and Environment* 44 (8). Elsevier Ltd: 1758–68. doi:10.1016/j.buildenv.2008.11.017.

Vitruvius, *The Ten Books of Architecture*, 1914, Harvard University Press

Vitruvius Marcus. 1973. De Arquitectura. Ediciones de arte y bibliografía para Unión Explosivos Río Tinto S.A, Madrid,

Warren L. Paul y Taylor Peter A . 2008. A Comparison of Occupant Comfort and Satisfaction between a Green Building and a Conventional Building. *Building and Environment* 43 (11): 1858–70. doi:10.1016/j.buildenv.2007.11.006.

Weintraub Alan y Smith Kathryn. 2009. *Frank Lloyd Wright L'Intégrale*. Editions du Chêne

WBCSD. 2009. “Energy Efficiency in Buildings Energy Efficiency in Buildings,” no. 9: 187–208. doi:10.1108/EUM00000000002227.

Wildman, Michael. 2000. *An Historical View of Frank Lloyd Wright ' s Usonian Concept*. *An Historical View of Frank Lloyd Wright's Usonian Concept*. Housing Seminar 1 ARC 301-630A

Wise, Ela. 2013. *A Gradual Reawakening: Broadacre City and a New American Agrarianism*. Berkeley Planning Journal, 26. doi:10.5811/westjem.2011.5.6700.

Wong, S.L.; Wan, Kevin K.W.; Yang, Liu y Lam, Joseph C. 2012. Changes in Bioclimates in Different Climates around the World and Implications for the Built Environment. *Building and Environment* 57 (November). Elsevier Ltd: 214–22. doi:10.1016/j.buildenv.2012.05.006.

Wright, Frank. Lloyd. 1932. *The Disappearing City*, Stratford Press, Inc. N. Y

Wright, Frank Lloyd. 1932. *The Disappearing City*. New York, W F Payson. Public Domain , Google-Digitized, http://www.hathitrust.org/access_use#pd-google

Wright, Frank Lloyd. 1935. Broadacre City: A new Community Plan. *Architectural Record*

Wright, Frank. Lloyd. 1943. *An Autobiography*. San Francisco: Pomegranate Communications, Inc.

Wright, Frank Lloyd. 1954. *The Natural House*. Nueva York: Horizon Press.

Wright, Frank Loyd. 1957. *A Testament*. Nueva York: Horizon Press.

Wright, Frank Lloyd. 1958. *The Living City*. Nueva York: Horizon Press.

Wright, Eric Lloyd y Thomas Wright. 2015. Conferencia: *Wisconsin : Frank Lloyd Wright ' S Laboratory*. Frank Lloyd Wright Building Conservancy.

<http://guerrerophoto.com/>

www.zebfactory.com

www.mcdonough.com/

<http://taliesin.edu/history.html>. (28-01-2015)

www.savewright.org. Consulta realizada el 15-02-2015.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ruwk56O5v2Q&feature=youtu.be>

<http://green-cincinnati.com/boulter-house-insulation-demonstration-nov-18-2011/>

<https://www.windfinder.com/forecast/university-of-wisconsin-madison>. Consulta realizada el 15-04-2015. Datos climáticos de Madison, Wisconsin.

<http://www.jsonline.com/blogs/entertainment/111620099.html#ixzz2tgHA2tMR>

Xu, Tingbao y Hutchinson, Michael F. 2013. New Developments and Applications in the ANUCLIM Spatial Climatic and Bioclimatic Modelling Package. *Environmental Modelling & Software* 40 (February). Elsevier Ltd: 267–79. doi:10.1016/j.envsoft.2012.10.003.

Yang, Liu; Yan, Haiyan y Lam, Joseph C. 2014. Thermal Comfort and Building Energy Consumption Implications – A Review. *Applied Energy* 115 (February). Elsevier Ltd: 164–73. doi:10.1016/j.apenergy.2013.10.062.

Yeang, Ken. 1996. The sky scraper bio-climatically considered. *Architectural Record*, Academy Edition, Boston.

Zhai, Zhiqiang (John) y Previtali, Jonathan M. 2010. Ancient Vernacular Architecture: Characteristics Categorization and Energy Performance Evaluation. *Energy and Buildings*. 42 (3): 357–65. doi:10.1016/j.enbuild.2009.10.002.

Conversión pies/ pulgadas al Sistema métrico: 1’’= 2.54 cm. Todas las conversiones han sido realizadas por el autor.

Traducciones de los textos de Frank Lloyd Wright al castellano realizadas por el autor.

ANEJOS

1. Índice de Figuras

Las figuras de la maqueta de la casa Jacobs con *Revit* y en *Design Builder* han sido desarrolladas por el autor.

Figura 1. La Cabaña Primitiva (Laugier 1753).....	29
Figura 2. Reconstrucción de una casa griega clásica, de las excavaciones de Theodore Wiegand en la ciudad de Priene. Las habitaciones tras el pórtico se abrían al sur del patio (López de Asiaín 1996).....	31
Figura 3. Vivienda Yagua en la Amazonía, América (Coch, 1998,72).	32
Figura 4. Vivienda en Malasia, Asia (Coch, 1998,72).	32
Figura 5. Esquema de comportamiento térmico de un iglú (Velasco 2011).	32
Figura 6. Imagen de la construcción de un iglú. Fotografía de autor desconocido.....	32
Figura 7. Ejemplos de edificios representativos de la arquitectura contemporánea. Las 4 torres de la Castellana (Madrid, España). Fotografía del autor.	33
Figura 8. Ejemplos de edificios representativos de la arquitectura contemporánea: Mediateca André Malraux (Estrasburgo, Francia). Fotografía del autor.	33
Figura 9. Villa Rotonda de Andrea Palladio. Imagen de la villa en lo alto de la colina. Fotografía de autor desconocido.	33
Figura 10. Villa Rotonda de Andrea Palladio. Esquema de funcionamiento de la ventilación natural (Velasco 2011).	34
Figura 11. Imagen representativa de la vida en la ciudad en el S. XIX. Fotografía de autor desconocido.	34
Figura 12. Vista de la City de Londres (Inglaterra). Fotografía de autor desconocido.....	35
Figura 13. Vista del sky-line de Dubái (Emiratos Árabes Unidos). Fotografía de autor desconocido.	35
Figura 14. Red House, Philip Webb (Londres, Inglaterra, 1859). Arquitectura Arts & Crafts. Fuente Wikipedia 01-09-2014. Fotografía autor desconocido.	36
Figura 15. La casa de la Cascada, Frank Lloyd Wright (Mill Run, Pensilvania, EE. UU, 1939). Fotografía del autor.....	37
Figura 16. Villa Shodhan de Le Corbusier (Ahmedabad, Gujerat, India, 1951-56) ejemplo de brieese soleil. Fotografía de autor desconocido.....	38
Figura 17. Villa Mairea de Alvar Aalto (Noormarkku, Finlandia 1937-39) (Alvar Aalto Houses 2005)....	38
Figura 18. Complejo edificado de Arcosanti de Paolo Soleri (Arizona, EE. UU, años '70). Fotografía de autor desconocido.....	39
Figura 19. Edificio Licht + Luft ejemplo de ZEB (Lunstnau, Tübingen, Alemania, 2014). Fotografía del autor.....	46
Figura 20. Diagrama de Olgyay que analiza el confort térmico de la casa Freeman (Los Ángeles, EE. UU, 1923) (Schiler y Brahmabhatt 2006)	53
Figura 21. Casa Robie (Chicago, Illinois, EE. UU, 1908-09) construida con los bloques Fröbel.	69
Figura 22. Casa Robie (Chicago, Illinois, EE. UU, 1908-09) imagen de la fachada principal. Fotografía de Jaime Beltrán.....	69
Figura 23. Casa Peter A. Beachy, (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1906). Fotografía de Lorena García Castro.	72
Figura 24. Complejo de Taliesin, (Spring Green, Wisconsin, EE. UU, 1911-25) Fotografía de autor desconocido..	72

Figura 25. Casa estudio de Frank Lloyd Wright (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1889). Fotografías de Jaime Beltrán.	72
Figura 26. Casa Arthur y Grace Heurtley (Oak Park, Illinois, EE. UU, 1902). Fotografía de Jaime Beltrán.	73
Figura 27. Textile Block Houses. Imagen de la construcción de la residencia para Mabel y Charles Ennis (Los Ángeles, California, EE. UU, 1923) Fotografía de la Ennis House Foundation.	75
Figura 28. Detalle del sistema constructivo. Autor Richard Neutra (Wright 1954, 203)	75
Figura 29. Casa Jacobs I (Madison, Wisconsin, EE. UU, 1936). Vista de la fachada oeste hacia el norte. (Wright 1954, 86).	82
Figura 30. Taliesin West (Scottsdale, Arizona, EE. UU, 1937-59). Vista de la entrada principal donde se aprecian los muros masonry desert. Fotografía del autor.	82
Figura 31. Taliesin West (Scottsdale, Arizona, EE. UU, 1937-59). Vista de la sala de dibujo donde se aprecia la estructura de madera y la importancia de la luz natural. Fotografía del autor.	83
Figura 32. Detalles de construcción de vivienda Usonian Automatic. (Wright 1954, 201).	84
Figura 33. Fotografía de la construcción de vivienda Usonian Automatic (Wright 1954, 200). Fotografía de Helen Levitt.	84
Figura 34. Modelo a escala real de vivienda Usonian Automatic diseñada por Wright en 1955. Exposición de 1988 Frank Lloyd Wright: In the Realm of Ideas".	85
Figura 35. Edificio administrativo de la compañía S. C. Johnson, (Racine, Wisconsin, EE. UU, 1936-39 y 1950), imagen del interior donde se aprecia el lucernario que compone la cubierta del espacio central. Fotografía de autor desconocido.	86
Figura 36. Museo Guggenheim de Nueva York, imagen del lucernario que compone la cubierta del espacio central del museo. Fotografía de autor desconocido.	86
Figura 37. Imagen de la ciudad de Broadacre City publicada en The Living City (Wright 1958).	88
Figura 38. Edificio de oficinas Larkin. Vista del interior del edificio donde se aprecia el espacio central con el gran lucernario de cubierta.	94
Figura 39. Edificio de oficinas Larkin. Vista del exterior (Banham [1969] 1984, 87).	94
Figura 40. Casa Robie Vista de la entrada a la vivienda.	95
Figura 41. Casa Robie Vista interior del salón con la cristalera al norte donde se aprecian a nivel de suelo las rejillas por donde sale el calor de los radiadores y las rejillas de iluminación encastradas en el falso techo. Fotografía de Jaime Beltrán.	95
Figura 42. Casa Robie. Vista del gran salón donde se muestran las grandes superficies acristaladas. Fotografía de Jaime Beltrán.	95
Figura 43. Vista de las seis viviendas en la calle West Burnhamm, (Milwaukee, EE. UU). Fotografía de The Journal Sentinel Archives.	98
Figura 44. Taliesin West. Vista del exterior del conjunto edificado. Fotografía del autor.	101
Figura 45. Taliesin West. Imagen de los paneles solares instalados en Taliesin West. Fotografía del proyecto Energyzing Taliesin West.	101
Figura 46. Unity Temple. Vista de la fachada. Fotografía de http://www.bc.edu/bc_org/avp/cas/fnart/fa267/FLW_churches.html (16-02-2015)	102
Figura 47. Unity Temple. Imagen del interior. Fotografía de http://designsbyfranklloydwright.com/image/44546001664 (16-02-2015).	103

Figura 48. La Capilla Pfeiffer. Imagen del exterior. Fotografía de http://www.franklloydwrightatfsc.com/FSC-FLW%20Doc%20-%20Early%20Years.htm	104
Figura 49. La Capilla Pfeiffer. Imagen del espacio interior donde se aprecia la importancia de la luz natural. Fotografía de http://fastestpedestrian.com/2014/05/07/frank-lloyd-wrights-florida-southern-college-campus/sony-dsc-83/	105
Figura 50. Casa Jacobs II. Vista aérea de la vivienda. Fotografía tomada en los años '50. Imagen de la construcción de la vivienda en la que se aprecia la doble fachada de piedra en fase de construcción. imagen durante la construcción del muro doble de piedra (Jacobs 1978).	106
Figura 51. Edificio administrativo para la S. C. Johnson Company. Imagen de la rehabilitación del edificio mostrando las fachadas y el hueco para el lucernario perimetral. Fotografías de [ARTE] Architecture Collection - Episode 07: F.L.Wright - Johnson Wax Administrative Building.	107
Figura 52. Edificio administrativo para la S. C. Johnson Company. Imagen del lucernario perimetral visto desde el interior. Fotografías de [ARTE] Architecture Collection - Episode 07: F.L.Wright - Johnson Wax Administrative Building.	108
Figura 53. Edificio administrativo y Torre de laboratorios de la S. C. Johnson Company. Vista aérea. Fotografía de Google earth (15-02-2015).	109
Figura 54. Torre de los laboratorios de la S. C. Johnson Company. Imagen de la doble altura de los laboratorios en la torre de investigación. Fotografía de Miller, Michelle. "AD Classics: SC Johnson Wax Research Tower / Frank Lloyd Wright" 08 Sep 2014. ArchDaily. Accessed 16 Feb 2015. < http://www.archdaily.com/?p=544911 >.....	109
Figura 55. Casa Boulter. Imagen del exterior de la vivienda en la que se señalan los puntos débiles.....	110
Figura 56. Casa Boulter. Termografía del exterior de la vivienda, señalando los puntos débiles.	110
Figura 57. Casa Boulter. Imagen de la instalación del aislamiento en el interior de los muros. Fotografías del Dual-View Imaging Report de la Boulter House (Homes +, Inc. 2007).	110
Figura 58. Imagen de la maqueta de Broadacre City 12'-0" x 12'-0" (3.65 x 3.65 m) presentada en la Exposition Industrial Arts Exposition en el fórum del Rockefeller Center en 1935. (http://www.rtve.es/fotogalerias/frank-lloyd-wright-moma/129075/broadacre-city-proyecto-1934-35-maqueta-madera-pintada-152-152-3861-3861-cm/1).	111
Figura 59. Casa Winslow. Planta baja (Storrer [1993] 2006, 23).	126
Figura 60. Casa Winslow. Imagen de la fachada a la vía pública. https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_(River_Forest,_Illinois)	126
Figura 61. Casa Winslow. Imágenes de la fachada trasera. https://en.wikipedia.org/wiki/Winslow_House_(River_Forest,_Illinois)	126
Figura 62. Residencia Hollis R. Root, complejo residencial de Ravine Bluffs, Glencoe, Illinois. http://www.findingmrwright.com/residential/1910-1915/ravine-bluffs-22/#bwg72/603	130
Figura 63. Casa Robie, planta baja (Storrer [1993] 2006, 127).	131
Figura 64. Casa Robie. Imagen de la chimenea central vista desde el salón, se muestra el hueco que comunica con el comedor. Fotografía de Jaime Beltrán.	131
Figura 65. Residencia Arthur L. Richards Small House (el norte coincide con la vertical). http://images.lib.ncsu.edu/luna/servlet/view/all/who/Wright,%20Frank%20Lloyd/what/Architecture/?widgetFormat=html&os=700&widgetType=thumbnail&showAll=where&embedded=true&res=2	133
Figura 66. Residencia Arthur L. Richards Small House. Vista frontal. Fotografía autor desconocido. (referencia).	134
Figura 67. Residencia Yamamura. Planta (https://www.yodoko.co.jp/geihinkan/tour_e/10.html)	135
Figura 68. Casa Freeman. Planta principal y planta baja (Storrer [1993] 2006, 221).	138

Figura 69. Casa Jacobs I. Planta (Peiffer y Futagawa 1988).	142
Figura 70. Hemiciclo Solar. Planta baja (Storrier [1993] 2006, 292).	142
Figura 71. Residencia Rose Pauson Phoenix, Arizona. Planta baja. http://wrightchat.savewright.org/ ..	144
Figura 72. Residencia Rose Pauson Phoenix, Arizona. Planta primera. http://wrightchat.savewright.org/	144
Figura 73. Casa Rose Pauson. Fachada este abierta. http://mlmrarquitectos.com/rose-pawson-house-1942/#	145
Figura 74. Casa Rose Pauson. Fachada oeste prácticamente ciega. http://mlmrarquitectos.com/rose-pawson-house-1942/#	145
Figura 75. Residencia para Benjamin Adelman, Planta. http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS344.htm	147
Figura 76. Casa Jacobs I. Propuesta de septiembre 1936 en la parcela original. Vivienda simétrica a la vivienda finalmente construida. (The Frank Lloyd Wright Foundation Archives).	154
Figura 77. Situación Madison, Wisconsin.....	155
Figura 78. Climograma de Madison, Wisconsin. Estados Unidos. http://wwis.aemet.es/es/home.html La curva en rojo representa las temperaturas medias de las máximas, y en azul las temperaturas medias de las mínimas.	155
Figura 79. Rosas de los vientos de los meses de enero y julio para Madison, Wisconsin. Revit. Mapa de vientos http://es.windfinder.com/weather-maps/superforecast/usa#8/41.640/-92.109 19 junio 2015.....	156
Figura 80. Casa Jacobs I. Planta baja. Maqueta Revit.	157
Figura 81. Casa Jacobs I. Posición de la vivienda dentro de la parcela. Google maps.....	159
Figura 82. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit.....	160
Figura 83. Casa Jacobs I. Fachadas norte-oeste. Imagen de la maqueta de Revit.	160
Figura 84. Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: sistema de calefacción Gravity Heat. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 28). Fotografía de Katherine Jacobs.	161
Figura 85. Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: solera de hormigón sobre la plataforma de tierra y núcleo central de fábrica de ladrillo. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 32). Fotografía de Herbert Jacobs.....	161
Figura 86 Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: núcleo central de fábrica de ladrillo en el que se aprecia la chimenea. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 32). Fotografía de Herbert Jacobs.....	162
Figura 87 Casa Jacobs I. Construcción de la vivienda: estructura de madera del ala de dormitorios. Imágenes empleadas con la autorización de la familia Jacobs (Jacobs 1978, 33). Fotografía de Herbert Jacobs.	162
Figura 88. Detalles del sistema constructivo del cerramiento de madera de las casas usonianas. (www.savewright.org).	164
Figura 89. Casa Jacobs I. Detalles constructivos. Autor Juan Antonio Rodríguez Fernández.	165
Figura 90. Casa Jacobs I. Sección de la vivienda mostrando los diferentes niveles de las cubiertas. Esquema elaborado por el autor a partir de la maqueta de Revit.....	166
Figura 91. Casa Jacobs I. Interior salón mostrando los distintos cerramientos; fábrica de ladrillo, madera, la fachada acristalada y los estores. También se muestra el falso techo original y el sistema de iluminación (The Frank Lloyd Wright Foundation, Scottsdale, Arizona). Fotografía de Pedro E. Guerrero.	167
Figura 92. Casa Jacobs I. Plano de la vivienda y el jardín (Peiffer y Futagawa 1988).....	168

Figura 93. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit (21 marzo 14:00h).....	169
Figura 94. Casa Jacobs I. Fachadas sur-este. Imagen de la maqueta de Revit (21 marzo 14:00h).....	169
Figura 95. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta sunearthtool.....	171
Figura 96. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.....	171
Figura 97. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta sunearthtool.....	173
Figura 98. Casa Jacobs I. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.....	173
Figura 99. Mapa de Middleton, Wisconsin, Estados Unidos. 43° 4' 25" N, 89° 32' 7" O	175
Figura 100. Casa Jacobs II. Planta primera. (Storrer [1993] 2006, 292).	176
Figura 101. Casa Jacobs II. Planta baja (Storrer [1993] 2006, 292).	176
Figura 102. Casa Jacobs II. Esquema en sección mostrando la protección frente al viento que representa el talud de tierra.....	177
Figura 103. Casa Jacobs II. Fachada sur. Imagen tomada a mitad de noviembre (Jacobs 1978, 114) Fotografía de Erza Stoller.....	178
Figura 104 . Esquema en planta Hemiciclo solar.	178
Figura 105. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Muro de piedra caliza compuesto por dos hojas atadas con llaves metálicas (Jacobs 1978, 99). Fotografías de Jack Steinberg.....	179
Figura 106. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Muro completado y construcción de la solera de planta baja con tuberías embebidas en la misma para el sistema de calefacción Gravity Heat (Jacobs 1978,106). Fotografías de Jack Steinberg.	179
Figura 107. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Estructura del muro norte y la estructura de madera de cubierta (Jacobs 1978, 107). Fotografías de Jack Steinberg.	180
Figura 108. Casa Jacobs II. Imágenes de la construcción de la vivienda. Estructura del muro norte y la estructura de madera de cubierta (Jacobs 1978, 107). Fotografías de Jack Steinberg.	180
Figura 109. Casa Jacobs II. Imagen de la fachada norte, con el talud que entierra parte del muro de piedra dejando las ventanas de los dormitorios de la planta primera (Jacobs 1978, 115). Fotografías de Erza Stoller.	181
Figura 110. Casa Jacobs II. Imagen de la fachada sur abierta a través de la gran cristalera al jardín (Jacobs 1978, 86). Fotografías de Erza Stoller.	181
Figura 111. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta sunearthtool.....	183
Figura 112. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de invierno. Esquema en sección elaborado por el autor.	183
Figura 113. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en planta elaborado por el autor mediante la herramienta sunearthtool.....	183
Figura 114. Casa Jacobs II. Estudio de soleamiento solsticio de verano. Esquema en sección elaborado por el autor.	184
Figura 115. Casa Jacobs II. Imagen del túnel de acceso directo al jardín sur, fotografía después de su construcción. (Jacobs 1978, 95). Fotografía de Erza Stoller.	184
Figura 116. Casa Jacobs II. Plano de Planta baja mostrando el acceso a través del túnel.	185

Figura 117. Casa Jacobs II. Imagen tomada después de su construcción hacia 1950. Fotografía de Donald Aitken,	186
Figura 118. Casa Jacobs II. Vista aérea donde se aprecia la vegetación diseñada por Wright de protección de la vivienda y del jardín. Fotografía de Google maps.	186
Figura 119. Design Builder. Ubicación de la vivienda a través de sus coordenadas.	191
Figura 120. Revit. Rosa de los vientos anual de la localización de las coordenadas de la vivienda.....	191
Figura 121 Revit. Datos climáticos proporcionados por el programa: rosa de los vientos y datos de temperatura y humedad.	192
Figura 122. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Fachadas sur-este.	192
Figura 123. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Fachadas norte-oeste.	192
Figura 124. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Acceso a la vivienda a través del carport.	193
Figura 125. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vista de la fachada sur-oeste.....	193
Figura 126. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vista de la cubierta de la vivienda, estructura de vigas de madera.	193
Figura 127. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vista de la cubierta de la vivienda, estructura de vigas de madera.	193
Figura 128. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Secciones por el núcleo central- cocina.	194
Figura 129. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Secciones por el núcleo central- cocina.	194
Figura 130. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Secciones por el núcleo central- baño.	194
Figura 131. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vistas de la fachada sur desde la terraza.	195
Figura 132. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vistas de la fachada sur desde el interior del salón.	195
Figura 133. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vistas del interior; comedor y salón.....	195
Figura 134. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Vistas del interior dormitorio y jardín.	196
Figura 135. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Imagen del modelo energético.	196
Figura 136. Casa Jacobs I. Maqueta exportada a Design Builder a partir de Revit. Se muestran los diferentes problemas planteados: los huecos en la unión de los diferentes materiales y el carácter del voladizo.	200
Figura 137. Casa Jacobs I. Maqueta exportada a Design Builder a partir de Revit. Se muestran los huecos en la unión de los diferentes materiales.....	200
Figura 138. Casa Jacobs I. Design Builder. Situación de la vivienda y datos de la estación climatológica de toma de datos.	201
Figura 139. Casa Jacobs I. Design Builder. Grafica con los datos climáticos externos proporcionados por el programa: temperatura exterior, velocidad del aire ...	201
Figura 140. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Dirección de los vientos dominantes invierno y verano en planta.	202
Figura 141. Casa Jacobs I. Sección tipo por el salón.....	204
Figura 142. Casa Jacobs I. Design Builder. Esquema de calefacción por suelo radiante.	206
Figura 143. Casa Jacobs I. Design Builder. Proceso eléctrico para la simulación de la chimenea.....	206
Figura 144. Casa Jacobs I. Design Builder. Distribución de temperaturas en el salón. Simulación chimenea y masa de ladrillo. Plano de corte horizontal.	207

Figura 145. Casa Jacobs I. Design Builder. Distribución de temperaturas en el salón. Simulación chimenea y masa de ladrillo. Plano de corte vertical y paralelo a la fachada.	207
Figura 146. Casa Jacobs I. Esquemas con las diferentes orientaciones analizadas.	208
Figura 147. Casa Jacobs I. Design Builder. Ventilación natural en el salón.	212
Figura 148. Casa Jacobs I. Design Builder. Ventilación natural dormitorios.....	213
Figura 149. Casa Jacobs I. Design Builder. Ventilación natural de la cocina.	213
Figura 150. Casa Jacobs I. Design Builder. Imágenes de la maqueta con voladizo (6 julio 6:00, 10:00, 12:00, 14:00).	215
Figura 151. Casa Jacobs I. Design Builder. Imágenes de la maqueta sin voladizo (6 julio 6:00, 10:00, 12:00, 14:00).	215
Figura 152. Casa Jacobs I. Design Builder. Imágenes de la maqueta con voladizo (15 enero 8:00, 10:00, 12:00, 14:00).	217
Figura 153. Casa Jacobs I. Design Builder. Imágenes de la maqueta sin voladizo (15 enero 8:00, 10:00, 12:00, 14:00).	217
Figura 154. Casa Jacobs I. Maqueta Revit. Tipos de cerramiento.....	222

1. Índice de tablas

Tabla 1. Certificaciones y estándares de sostenibilidad. Tabla elaborada por el autor.....	43
Tabla 2. Arquitectura Ecológica, Bioclimática y Sostenible; objetivos. Tabla elaborada por el autor.....	49
Tabla 3. Tabla de valoración de sensación térmica de Fanger. Tabla elaborada por el autor.....	53
Tabla 4. Parámetros empleados para el cálculo de confort térmico. Tabla elaborada por el autor.....	57
Tabla 5. Parámetros empleados para el cálculo del confort térmico. Tabla elaborada por el autor.....	59
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la medición in-situ y de la simulación digital. Tabla elaborada por el autor.....	66
Tabla 7. Edificios diseñados por Wright que fueron encargados por la misma familia.	115
Tabla 8. Resumen de las viviendas características anteriormente descritas	149
Tabla 9. Casa Jacobs I. Tabla de superficies.	158
Tabla 10. Casa Jacobs II. Tabla de superficies.	176
Tabla 11. Casa Jacobs I. Valores de Transmitancia Térmica U (W/m^2K). U_1 , datos de Design Builder. U_2 , datos del cálculo analítico. U_3 , valores máximos según CTE (zona climática D).	203
Tabla 12. Casa Jacobs I. Design Builder. Orientaciones con resultados más característicos original (0°), 45° y 270°	209
Tabla 13. Casa Jacobs I. Design Builder. Simulaciones realizadas para la influencia de la inercia térmica.	219
Tabla 14. Resumen de resultados más representativos.....	222
Tabla 15. Resistencia térmica de vestimenta. Fuente: Thermal comfort chapter, Fundamentals volume of the ASHRAE Handbook, ASHRAE, Inc. Atlanta, GA, 2005 y datos de la herramienta de cálculo de Center for the Built Environment (CBE) de la Universidad de Berkely.....	223
Tabla 16. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con Design Builder del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Verano.	224
Tabla 17. Valores del índice de vestimenta (clo) y resultados de PMV y PPD obtenidos con la herramienta de cálculo.....	224
Tabla 18. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con Design Builder del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Invierno.	227
Tabla 19. Valores del índice de vestimenta (clo) y resultados de PMV y PPD obtenidos con la herramienta de cálculo.....	227
Tabla 20. Resultados de condiciones climáticas obtenidos con Design Builder del estado original de la vivienda en la estancia del salón. Verano. Datos de T^a operativa máxima y mínima.....	231

2. Índice de gráficos

Gráfico 1. Gráfico psicométrico de T ^a operativa/Humedad. PMV y PPD de unas condiciones determinadas. Elaborado por el autor a través de http://comfort.cbe.berkeley.edu	58
Gráfico 2. Gráfico de T ^a operativa/T ^a exterior. Método adaptativo de unas condiciones determinadas. Elaborado por el autor a través de http://comfort.cbe.berkeley.edu	59
Gráficos 3. Revit. Datos de cargas de calefacción y refrigeración mensuales.....	198
Gráficos 4. Casa Jacobs II. Revit. Gráficos de consumos energéticos y demanda energética mensual....	199
Gráfico 5. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.36.	225
Gráfico 6. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.57.	225
Gráfico 7. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.61.	226
Gráfico 8. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 0.61 para alcanzar los mismos datos de PMV y PPD que con el índice de vestimenta clo 0.36.....	227
Gráfico 9. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.01.	228
Gráfico 10. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.30.	229
Gráfico 11. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.50.	229
Gráfico 12. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. Índice de vestimenta clo 1.01 para alcanzar los mismos datos de PMV y PPD que con el índice de vestimenta clo 1.30.....	230
Gráfico 13. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. T ^a operativa máxima en verano. Método de predicción. El punto rojo que representa las condiciones introducidas está fuera de la zona de confort..	233
Gráfico 14. Gráfico T ^a operativa/T ^a exterior. T ^a operativa máxima en verano. Método adaptativo. El punto rojo que representa las condiciones introducidas en el gráfico se encuentra dentro de la zona de confort.	233
Gráfico 15. Gráfico Psicométrico T ^a operativa/Humedad. T ^a operativa mínima en verano. Método de predicción. El punto rojo que representa las condiciones introducidas está fuera de la zona de confort..	234
Gráfico 16. Gráfico T ^a operativa/T ^a exterior. T ^a operativa mínima en verano. Método adaptativo. El punto rojo que representa las condiciones introducidas en el gráfico se encuentra dentro de la zona de confort.	235

3. Índice de gráficas

Gráfica 1. Casa Jacobs I. Influencia orientación sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.	210
Gráfica 2. Casa Jacobs I. Influencia orientación con ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.	211
Gráfica 3. Casa Jacobs I. Influencia de la ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.	212
Gráfica 4. Casa Jacobs I. Influencia orientación sobre la temperatura interior. Invierno.	214
Gráfica 5. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sobre la temperatura interior. Verano.	216
Gráfica 6. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.	216
Gráfica 7. Casa Jacobs I. Influencia voladizos sin ventilación natural sobre la temperatura interior. Verano.	218
Gráfica 8. Casa Jacobs I. Influencia inercia térmica de los materiales sobre la temperatura interior. Invierno	220
Gráfica 9. Casa Jacobs I. Influencia inercia térmica de los materiales sobre la temperatura interior. Invierno	221

4. Tablas de resultados *Design Builder*

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO
DIFERENTES ORIENTACIONES
SIN VENTILACION NATURAL

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op. 45 (° C)	T. Op. 270 (° C)
Día 1	21,65	26,40336	26,40507	26,36566
03/07/2002 1:00	22,175	26,14057	26,11978	26,07282
03/07/2002 2:00	21,8	25,91982	25,90939	25,84955
03/07/2002 3:00	21,25	25,67129	25,6827	25,64269
03/07/2002 4:00	20,725	25,4678	25,48883	25,51744
03/07/2002 5:00	20,15	25,6262	25,61042	25,63293
03/07/2002 6:00	19,7	26,08817	26,02778	26,08253
03/07/2002 7:00	19,375	26,05286	25,98795	26,03955
03/07/2002 8:00	19	25,96205	25,8905	25,93335
03/07/2002 9:00	20,55	26,5074	26,44113	26,37868
03/07/2002 10:00	22,825	27,32542	27,43888	27,13255
03/07/2002 11:00	25,05	27,96848	27,95639	27,79296
12:00	26,275	28,41612	28,41726	28,29878
03/07/2002 13:00	27,175	28,68485	28,82731	28,61816
03/07/2002 14:00	28,075	28,85355	29,13974	28,82967
03/07/2002 15:00	28,45	29,20505	29,54737	29,17809
03/07/2002 16:00	28,65	29,65672	29,90879	29,69346
03/07/2002 17:00	28,85	30,27343	30,40321	30,26661
03/07/2002 18:00	27,775	30,1603	30,22492	30,14301
03/07/2002 19:00	26,275	29,82351	29,90003	29,80449
03/07/2002 20:00	24,775	29,11408	29,16222	29,09649
03/07/2002 21:00	23,125	28,46592	28,49062	28,45034
03/07/2002 22:00	21,5	27,94891	27,96693	27,95142
03/07/2002 23:00	19,825	26,9083	26,9157	26,90774
Día 2	19,7	26,2719	26,28591	26,28569
04/07/2002 1:00	20,1	25,85227	25,8377	25,86429
04/07/2002 2:00	20,5	25,59356	25,58025	25,57859
04/07/2002 3:00	20,45	25,30397	25,34823	25,3449
04/07/2002 4:00	20,25	25,1216	25,15193	25,14923
04/07/2002 5:00	20,05	25,40862	25,38944	25,41977
04/07/2002 6:00	21,125	26,33211	26,35816	26,44701
04/07/2002 7:00	22,55	27,17543	27,08602	27,18782
04/07/2002 8:00	24,025	28,37026	28,01903	28,09048
04/07/2002 9:00	25,075	28,96022	28,64129	28,4703
04/07/2002 10:00	26,05	29,13485	29,01875	28,69353
04/07/2002 11:00	26,975	29,47736	29,33956	29,16261
12:00	27,65	29,6036	29,48359	29,37442
04/07/2002 13:00	28,175	29,64842	29,64157	29,48489

04/07/2002 14:00	28,75	29,58728	29,74167	29,46173
04/07/2002 15:00	28,375	29,72024	29,94529	29,59771
04/07/2002 16:00	27,6	29,93304	30,05805	29,82053
04/07/2002 17:00	26,875	30,45171	30,49773	30,38661
04/07/2002 18:00	24,75	30,24717	30,23975	30,30036
04/07/2002 19:00	22,15	29,73442	29,65602	29,74361
04/07/2002 20:00	19,55	29,14043	29,17452	29,17762
04/07/2002 21:00	17,925	28,35299	28,32409	28,34035
04/07/2002 22:00	16,625	27,45444	27,40013	27,43839
04/07/2002 23:00	15,325	26,24526	26,19351	26,22551
Día 3	14,475	25,47713	25,4089	25,44288
05/07/2002 1:00	13,7	24,77477	24,69777	24,73781
05/07/2002 2:00	12,975	24,18285	24,10756	24,13354
05/07/2002 3:00	13,625	23,79753	23,72935	23,77355
05/07/2002 4:00	14,725	23,76977	23,59001	23,78304
05/07/2002 5:00	15,825	24,71633	24,321	24,74322
05/07/2002 6:00	18,05	26,75673	26,08359	26,72392
05/07/2002 7:00	20,65	28,51757	27,48464	28,00035
05/07/2002 8:00	23,25	29,35085	28,57667	28,81964
05/07/2002 9:00	24,575	29,72555	29,13231	29,04951
05/07/2002 10:00	25,55	29,73556	29,38405	29,17346
05/07/2002 11:00	26,475	30,06433	29,68894	29,63829
12:00	27	30,17822	29,86073	29,87605
05/07/2002 13:00	27,325	30,22478	30,04006	30,00883
05/07/2002 14:00	27,7	30,14696	30,12791	29,97795
05/07/2002 15:00	27,5	30,27694	30,37399	30,12886
05/07/2002 16:00	27,175	30,52732	30,51634	30,39417
05/07/2002 17:00	26,8	31,07266	30,93841	30,98524
05/07/2002 18:00	25,05	30,86252	30,68192	30,78651
05/07/2002 19:00	22,775	30,28647	30,11493	30,20975
05/07/2002 20:00	20,55	29,71564	29,5961	29,69587
05/07/2002 21:00	19,55	28,90551	28,75288	28,84608
05/07/2002 22:00	19,025	28,02632	27,87321	27,96258
05/07/2002 23:00	18,45	26,86315	26,69766	26,68832
Día 4	18	26,14383	25,99236	25,9838
06/07/2002 1:00	17,675	25,62332	25,47733	25,51382
06/07/2002 2:00	17,3	25,25031	25,10433	25,08106
06/07/2002 3:00	18,025	24,92342	24,8208	24,82177
06/07/2002 4:00	19,2	24,99824	24,76638	24,92495
06/07/2002 5:00	20,325	26,05305	25,52376	26,02991
06/07/2002 6:00	21,95	27,22178	26,55101	27,08577
06/07/2002 7:00	23,825	28,66831	27,78608	28,12961
06/07/2002 8:00	25,65	29,69172	28,88811	29,09277
06/07/2002 9:00	27,075	30,23404	29,63724	29,56661
06/07/2002 10:00	28,375	30,14093	29,76552	29,68799
06/07/2002 11:00	29,675	30,33509	29,93367	30,04856

12:00	29,7	30,51367	30,13644	30,32863
06/07/2002 13:00	29,375	30,42104	30,14746	30,29094
06/07/2002 14:00	29	30,21506	30,0195	30,11749
06/07/2002 15:00	29,05	30,26521	30,20095	30,18211
06/07/2002 16:00	29,175	30,38417	30,2006	30,31474
06/07/2002 17:00	29,35	30,68607	30,50599	30,66752
06/07/2002 18:00	28,05	30,62663	30,40954	30,64165
06/07/2002 19:00	26,175	30,35699	30,11287	30,33364
06/07/2002 20:00	24,35	30,13546	29,87411	30,04539
06/07/2002 21:00	23,9	29,54851	29,29009	29,46664
06/07/2002 22:00	23,9	29,02054	28,77629	28,94014
06/07/2002 23:00	23,9	28,02476	27,7087	27,86349
Día 5	23,225	27,38142	27,08392	27,26093
07/07/2002 1:00	22,25	26,86722	26,62435	26,7789
07/07/2002 2:00	21,325	26,38688	26,16169	26,34595
07/07/2002 3:00	21,25	26,07718	25,86192	26,02779
07/07/2002 4:00	21,45	25,98747	25,69859	26,01206
07/07/2002 5:00	21,65	26,91143	26,29413	26,93001
07/07/2002 6:00	23,35	28,44035	27,37795	28,20319
07/07/2002 7:00	25,55	29,8016	28,55623	29,23676
07/07/2002 8:00	27,75	30,74329	29,59753	30,13288
07/07/2002 9:00	29,275	31,22967	30,31815	30,60004
07/07/2002 10:00	30,575	31,27923	30,66695	30,85197
07/07/2002 11:00	31,875	31,5689	31,00039	31,27834
12:00	32,5	31,68071	31,1741	31,50131
07/07/2002 13:00	32,825	31,8029	31,43976	31,66816
07/07/2002 14:00	33,2	31,84971	31,64144	31,73579
07/07/2002 15:00	32,775	31,96013	31,91523	31,85215
07/07/2002 16:00	32	31,90257	31,78373	31,80536
07/07/2002 17:00	31,275	32,14287	31,94314	32,06829
07/07/2002 18:00	29,825	31,91396	31,68246	31,87227
07/07/2002 19:00	28,2	31,56407	31,31047	31,49747
07/07/2002 20:00	26,525	31,27838	30,97451	31,19837
07/07/2002 21:00	25,8	30,62029	30,34786	30,54399
07/07/2002 22:00	25,475	30,01178	29,76961	29,93915
07/07/2002 23:00	25,1	28,90564	28,63032	28,79137
Día 6	24,7	28,29162	28,00427	28,14948
08/07/2002 1:00	24,375	27,86934	27,60678	27,78321
08/07/2002 2:00	24	27,53751	27,29482	27,43384
08/07/2002 3:00	24,05	27,28152	27,05787	27,15798
08/07/2002 4:00	24,175	27,11656	26,89357	27,02494
08/07/2002 5:00	24,35	27,61453	27,29706	27,54115
08/07/2002 6:00	25,375	29,03742	28,54591	28,97686
08/07/2002 7:00	26,675	30,09573	29,42012	29,8413
08/07/2002 8:00	27,975	30,70512	30,03804	30,31591
08/07/2002 9:00	29,275	31,13071	30,56476	30,57924

08/07/2002 10:00	30,575	31,29567	30,9101	30,80118
08/07/2002 11:00	31,875	31,7086	31,30163	31,31933
12:00	32,725	31,98188	31,63872	31,68414
08/07/2002 13:00	33,5	32,20507	32,01987	31,97466
08/07/2002 14:00	34,225	32,32087	32,31311	32,12888
08/07/2002 15:00	33,875	32,59862	32,69678	32,42865
08/07/2002 16:00	33,1	32,927	32,89395	32,78072
08/07/2002 17:00	32,375	33,45377	33,2908	33,3027
08/07/2002 18:00	30,7	33,27224	33,06062	33,13906
08/07/2002 19:00	28,625	32,76979	32,52529	32,62295
08/07/2002 20:00	26,6	32,21541	31,9976	32,1398
08/07/2002 21:00	24,975	31,40297	31,20928	31,35325
08/07/2002 22:00	23,55	30,55541	30,42235	30,44475
08/07/2002 23:00	22,075	29,29007	29,11754	29,28372
Día 7	21,55	28,60103	28,38692	28,47761
09/07/2002 1:00	21,35	28,08102	27,90462	27,99644
09/07/2002 2:00	21,15	27,72863	27,54892	27,66272
09/07/2002 3:00	20,95	27,39472	27,25129	27,35436
09/07/2002 4:00	20,825	27,13812	26,9823	27,0063
09/07/2002 5:00	20,65	27,44777	27,18428	27,30584
09/07/2002 6:00	22,4	29,04367	28,44178	28,83544
09/07/2002 7:00	24,8	30,2491	29,52271	29,85001
09/07/2002 8:00	27,2	31,13002	30,40259	30,59842
09/07/2002 9:00	25,175	30,68032	30,21995	30,06471
09/07/2002 10:00	21,6	29,57273	29,1758	29,1933
09/07/2002 11:00	18,075	27,88842	27,44606	27,63523
12:00	18,475	27,31613	26,92218	27,10698
09/07/2002 13:00	20,1	27,48505	27,15797	27,28796
09/07/2002 14:00	21,775	27,60356	27,30273	27,42023
09/07/2002 15:00	22,05	27,83	27,49837	27,64978
09/07/2002 16:00	21,925	28,09995	27,79896	27,91961
09/07/2002 17:00	21,75	28,63055	28,3508	28,48251
09/07/2002 18:00	21,1	28,73044	28,44428	28,59798
09/07/2002 19:00	20,375	28,65508	28,36129	28,5339
09/07/2002 20:00	19,6	28,54557	28,24916	28,42599
09/07/2002 21:00	19,4	28,03918	27,75668	27,924
09/07/2002 22:00	19,4	27,50145	27,19829	27,37447
09/07/2002 23:00	19,4	26,54408	26,23117	26,42138

**TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO
DIFERENTES ORIENTACIONES
CON VENTILACION NATURAL**

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op. 45 (° C)	T. Op. 270 (° C)
Día 1	21,65	23,9815	24,07576	24,01349
03/07/2002 1:00	22,175	23,98276	24,02872	23,96204
03/07/2002 2:00	21,8	23,90837	23,86701	23,85138
03/07/2002 3:00	21,25	23,8113	23,88957	23,84599
03/07/2002 4:00	20,725	23,79881	23,85187	23,8506
03/07/2002 5:00	20,15	23,55947	23,59717	23,68853
03/07/2002 6:00	19,7	23,47467	23,5503	23,51652
03/07/2002 7:00	19,375	23,58245	23,50748	23,41626
03/07/2002 8:00	19	23,69254	23,7429	23,70798
03/07/2002 9:00	20,55	24,18125	24,16567	24,08055
03/07/2002 10:00	22,825	25,73142	25,97472	25,39347
03/07/2002 11:00	25,05	26,78323	26,9025	26,58005
12:00	26,275	27,48282	27,59022	27,2864
03/07/2002 13:00	27,175	27,8977	28,22527	27,84172
03/07/2002 14:00	28,075	28,15382	28,70956	28,1056
03/07/2002 15:00	28,45	28,38284	28,80408	28,36457
03/07/2002 16:00	28,65	28,65835	28,96922	28,64096
03/07/2002 17:00	28,85	28,9807	29,14447	28,95342
03/07/2002 18:00	27,775	28,3382	28,47131	28,33831
03/07/2002 19:00	26,275	27,37622	27,50334	27,38279
03/07/2002 20:00	24,775	26,22296	26,33335	26,23468
03/07/2002 21:00	23,125	25,3768	25,42635	25,28658
03/07/2002 22:00	21,5	24,75432	24,84538	24,74491
03/07/2002 23:00	19,825	24,00223	24,16153	24,10504
Día 2	19,7	23,88165	24,06411	23,92775
04/07/2002 1:00	20,1	23,82336	23,90296	23,78092
04/07/2002 2:00	20,5	23,70046	23,70369	23,68396
04/07/2002 3:00	20,45	23,56403	23,48494	23,51027
04/07/2002 4:00	20,25	23,43915	23,4361	23,30876
04/07/2002 5:00	20,05	23,34086	23,31689	23,3327
04/07/2002 6:00	21,125	23,95919	23,86771	23,85422
04/07/2002 7:00	22,55	24,65571	24,58548	24,55276
04/07/2002 8:00	24,025	25,63836	25,50658	25,47053
04/07/2002 9:00	25,075	26,38194	26,37797	26,17878
04/07/2002 10:00	26,05	27,57038	27,58455	27,2743
04/07/2002 11:00	26,975	28,33273	28,337	28,06519
12:00	27,65	28,66503	28,7598	28,50814
04/07/2002 13:00	28,175	28,83911	29,09073	28,72539

04/07/2002 14:00	28,75	28,87398	29,33388	28,78503
04/07/2002 15:00	28,375	28,67228	29,01516	28,613
04/07/2002 16:00	27,6	28,3643	28,62441	28,30487
04/07/2002 17:00	26,875	28,09391	28,2934	28,05481
04/07/2002 18:00	24,75	26,8986	27,07512	26,89018
04/07/2002 19:00	22,15	25,64721	25,78831	25,67121
04/07/2002 20:00	19,55	24,88505	24,85502	24,83651
04/07/2002 21:00	17,925	24,11339	24,08372	24,08049
04/07/2002 22:00	16,625	23,63039	23,58551	23,59426
04/07/2002 23:00	15,325	23,3674	23,2343	23,28954
Día 3	14,475	23,00037	22,96008	22,97777
05/07/2002 1:00	13,7	22,56693	22,63788	22,57788
05/07/2002 2:00	12,975	22,30504	22,40622	22,21663
05/07/2002 3:00	13,625	22,14954	22,1885	22,06484
05/07/2002 4:00	14,725	22,22165	22,16253	22,20735
05/07/2002 5:00	15,825	22,79973	22,5885	22,78395
05/07/2002 6:00	18,05	24,01171	23,66487	23,81097
05/07/2002 7:00	20,65	25,06968	24,63927	24,82149
05/07/2002 8:00	23,25	25,87745	25,57259	25,63573
05/07/2002 9:00	24,575	26,48299	26,36493	26,20925
05/07/2002 10:00	25,55	27,65082	27,68816	27,43951
05/07/2002 11:00	26,475	28,58616	28,54777	28,33957
12:00	27	29,03268	29,02258	28,8431
05/07/2002 13:00	27,325	29,21745	29,41413	29,08714
05/07/2002 14:00	27,7	29,2516	29,64498	29,15129
05/07/2002 15:00	27,5	28,59509	28,89702	28,53706
05/07/2002 16:00	27,175	28,45227	28,65388	28,38799
05/07/2002 17:00	26,8	28,36591	28,46801	28,31805
05/07/2002 18:00	25,05	27,37128	27,42899	27,3381
05/07/2002 19:00	22,775	26,02269	26,05239	26,03586
05/07/2002 20:00	20,55	25,16221	25,21832	25,15696
05/07/2002 21:00	19,55	24,44967	24,5255	24,44884
05/07/2002 22:00	19,025	24,01914	23,96232	23,91713
05/07/2002 23:00	18,45	23,80629	23,85264	23,70466
Día 4	18	23,44419	23,78937	23,47185
06/07/2002 1:00	17,675	23,11079	23,5456	23,16507
06/07/2002 2:00	17,3	22,93807	23,27538	23,00554
06/07/2002 3:00	18,025	22,81161	23,09807	22,82565
06/07/2002 4:00	19,2	23,01191	23,21807	23,01801
06/07/2002 5:00	20,325	23,81819	23,70421	23,80268
06/07/2002 6:00	21,95	24,51917	24,34467	24,47204
06/07/2002 7:00	23,825	25,56858	25,29734	25,46593
06/07/2002 8:00	25,65	26,93052	26,6272	26,73483
06/07/2002 9:00	27,075	27,78181	27,69017	27,63717
06/07/2002 10:00	28,375	28,25207	28,24726	28,25743
06/07/2002 11:00	29,675	28,99218	28,90224	28,96909

12:00	29,7	29,30699	29,28385	29,33261
06/07/2002 13:00	29,375	29,21716	29,29363	29,26244
06/07/2002 14:00	29	29,02107	29,14326	29,077
06/07/2002 15:00	29,05	29,0571	29,23381	29,10692
06/07/2002 16:00	29,175	29,11419	29,2492	29,15095
06/07/2002 17:00	29,35	29,29916	29,37614	29,33125
06/07/2002 18:00	28,05	28,62899	28,66726	28,71007
06/07/2002 19:00	26,175	27,51147	27,5386	27,57078
06/07/2002 20:00	24,35	26,46022	26,48898	26,49981
06/07/2002 21:00	23,9	25,80187	25,8148	25,83226
06/07/2002 22:00	23,9	25,45153	25,46534	25,48334
06/07/2002 23:00	23,9	24,97537	24,99194	25,00375
Día 5	23,225	24,60244	24,65466	24,64147
07/07/2002 1:00	22,25	24,19328	24,28195	24,227
07/07/2002 2:00	21,325	23,99522	23,91487	24,02931
07/07/2002 3:00	21,25	23,84994	23,9607	23,81078
07/07/2002 4:00	21,45	23,92229	23,80181	23,91356
07/07/2002 5:00	21,65	24,37938	24,09524	24,45915
07/07/2002 6:00	23,35	25,45429	24,96369	25,33652
07/07/2002 7:00	25,55	26,91907	26,41351	26,79123
07/07/2002 8:00	27,75	28,33684	27,98858	28,27523
07/07/2002 9:00	29,275	29,20623	29,04038	29,17412
07/07/2002 10:00	30,575	29,78137	29,74065	29,75836
07/07/2002 11:00	31,875	30,46155	30,34381	30,39177
12:00	32,5	30,80409	30,692	30,76166
07/07/2002 13:00	32,825	31,01881	31,09663	31,00621
07/07/2002 14:00	33,2	31,14246	31,41928	31,13728
07/07/2002 15:00	32,775	31,31071	31,7621	31,30197
07/07/2002 16:00	32	31,15994	31,52245	31,23083
07/07/2002 17:00	31,275	31,08149	31,23491	31,12453
07/07/2002 18:00	29,825	30,22849	30,31711	30,30044
07/07/2002 19:00	28,2	29,15492	29,21818	29,22185
07/07/2002 20:00	26,525	28,11471	28,16165	28,19247
07/07/2002 21:00	25,8	27,32342	27,35819	27,3829
07/07/2002 22:00	25,475	26,81418	26,84084	26,86408
07/07/2002 23:00	25,1	26,15545	26,18005	26,18428
Día 6	24,7	25,69477	25,71625	25,72342
08/07/2002 1:00	24,375	25,31965	25,33974	25,34869
08/07/2002 2:00	24	24,96705	24,98747	24,99142
08/07/2002 3:00	24,05	24,81093	24,83126	24,83354
08/07/2002 4:00	24,175	24,79082	24,8098	24,81056
08/07/2002 5:00	24,35	25,14663	25,09535	25,17764
08/07/2002 6:00	25,375	26,38862	26,17786	26,32527
08/07/2002 7:00	26,675	27,60079	27,2866	27,46007
08/07/2002 8:00	27,975	28,53866	28,2937	28,43685
08/07/2002 9:00	29,275	29,30717	29,18196	29,18119

08/07/2002 10:00	30,575	29,94848	29,92215	29,73406
08/07/2002 11:00	31,875	30,62016	30,57478	30,41891
12:00	32,725	31,10522	31,10558	30,95164
08/07/2002 13:00	33,5	31,41494	31,64243	31,30963
08/07/2002 14:00	34,225	31,60697	32,0556	31,52355
08/07/2002 15:00	33,875	31,94619	32,51056	31,88154
08/07/2002 16:00	33,1	32,24398	32,65694	32,25611
08/07/2002 17:00	32,375	32,36885	32,55807	32,36773
08/07/2002 18:00	30,7	31,5108	31,58631	31,48706
08/07/2002 19:00	28,625	30,12558	30,25406	30,15365
08/07/2002 20:00	26,6	28,80085	28,83771	28,74425
08/07/2002 21:00	24,975	27,51192	27,53229	27,39444
08/07/2002 22:00	23,55	26,35834	26,39715	26,33249
08/07/2002 23:00	22,075	25,42166	25,44624	25,37174
Día 7	21,55	24,98136	24,92575	24,96001
09/07/2002 1:00	21,35	24,65714	24,68982	24,6535
09/07/2002 2:00	21,15	24,39797	24,49241	24,41848
09/07/2002 3:00	20,95	24,33795	24,21533	24,23409
09/07/2002 4:00	20,825	24,00713	24,12769	23,97811
09/07/2002 5:00	20,65	24,18831	24,19708	24,16707
09/07/2002 6:00	22,4	25,21034	25,03469	25,03966
09/07/2002 7:00	24,8	26,53389	26,20182	26,31504
09/07/2002 8:00	27,2	28,16571	27,79395	27,87853
09/07/2002 9:00	25,175	27,12613	26,99659	26,92178
09/07/2002 10:00	21,6	27,09675	27,0358	26,98348
09/07/2002 11:00	18,075	26,06218	26,0049	25,98058
12:00	18,475	25,67408	25,6224	25,60248
09/07/2002 13:00	20,1	25,90596	25,86821	25,88356
09/07/2002 14:00	21,775	26,13748	26,09069	26,06329
09/07/2002 15:00	22,05	25,05305	25,01943	25,0271
09/07/2002 16:00	21,925	24,89983	24,86114	24,94248
09/07/2002 17:00	21,75	24,93373	24,93628	24,93533
09/07/2002 18:00	21,1	24,73916	24,72149	24,74041
09/07/2002 19:00	20,375	24,50967	24,53339	24,4566
09/07/2002 20:00	19,6	24,27058	24,24418	24,20308
09/07/2002 21:00	19,4	24,0139	24,03593	24,03617
09/07/2002 22:00	19,4	23,78488	23,7507	23,77053
09/07/2002 23:00	19,4	23,56927	23,6487	23,72503

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO
ORIENTACION ORIGINAL
CON Y SIN VENTILACION NATURAL

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 Vent. Nat. (° C)	T. Op. 0 Sin Vent. Nat. (° C)
Día 1	21,65	23,9815	26,40336
03/07/2002 1:00	22,175	23,98276	26,14057
03/07/2002 2:00	21,8	23,90837	25,91982
03/07/2002 3:00	21,25	23,8113	25,67129
03/07/2002 4:00	20,725	23,79881	25,4678
03/07/2002 5:00	20,15	23,55947	25,6262
03/07/2002 6:00	19,7	23,47467	26,08817
03/07/2002 7:00	19,375	23,58245	26,05286
03/07/2002 8:00	19	23,69254	25,96205
03/07/2002 9:00	20,55	24,18125	26,5074
03/07/2002 10:00	22,825	25,73142	27,32542
03/07/2002 11:00	25,05	26,78323	27,96848
12:00	26,275	27,48282	28,41612
03/07/2002 13:00	27,175	27,8977	28,68485
03/07/2002 14:00	28,075	28,15382	28,85355
03/07/2002 15:00	28,45	28,38284	29,20505
03/07/2002 16:00	28,65	28,65835	29,65672
03/07/2002 17:00	28,85	28,9807	30,27343
03/07/2002 18:00	27,775	28,3382	30,1603
03/07/2002 19:00	26,275	27,37622	29,82351
03/07/2002 20:00	24,775	26,22296	29,11408
03/07/2002 21:00	23,125	25,3768	28,46592
03/07/2002 22:00	21,5	24,75432	27,94891
03/07/2002 23:00	19,825	24,00223	26,9083
Día 2	19,7	23,88165	26,2719
04/07/2002 1:00	20,1	23,82336	25,85227
04/07/2002 2:00	20,5	23,70046	25,59356
04/07/2002 3:00	20,45	23,56403	25,30397
04/07/2002 4:00	20,25	23,43915	25,1216
04/07/2002 5:00	20,05	23,34086	25,40862
04/07/2002 6:00	21,125	23,95919	26,33211
04/07/2002 7:00	22,55	24,65571	27,17543
04/07/2002 8:00	24,025	25,63836	28,37026
04/07/2002 9:00	25,075	26,38194	28,96022
04/07/2002 10:00	26,05	27,57038	29,13485
04/07/2002 11:00	26,975	28,33273	29,47736
12:00	27,65	28,66503	29,6036
04/07/2002 13:00	28,175	28,83911	29,64842

04/07/2002 14:00	28,75	28,87398	29,58728
04/07/2002 15:00	28,375	28,67228	29,72024
04/07/2002 16:00	27,6	28,3643	29,93304
04/07/2002 17:00	26,875	28,09391	30,45171
04/07/2002 18:00	24,75	26,8986	30,24717
04/07/2002 19:00	22,15	25,64721	29,73442
04/07/2002 20:00	19,55	24,88505	29,14043
04/07/2002 21:00	17,925	24,11339	28,35299
04/07/2002 22:00	16,625	23,63039	27,45444
04/07/2002 23:00	15,325	23,3674	26,24526
Día 3	14,475	23,00037	25,47713
05/07/2002 1:00	13,7	22,56693	24,77477
05/07/2002 2:00	12,975	22,30504	24,18285
05/07/2002 3:00	13,625	22,14954	23,79753
05/07/2002 4:00	14,725	22,22165	23,76977
05/07/2002 5:00	15,825	22,79973	24,71633
05/07/2002 6:00	18,05	24,01171	26,75673
05/07/2002 7:00	20,65	25,06968	28,51757
05/07/2002 8:00	23,25	25,87745	29,35085
05/07/2002 9:00	24,575	26,48299	29,72555
05/07/2002 10:00	25,55	27,65082	29,73556
05/07/2002 11:00	26,475	28,58616	30,06433
12:00	27	29,03268	30,17822
05/07/2002 13:00	27,325	29,21745	30,22478
05/07/2002 14:00	27,7	29,2516	30,14696
05/07/2002 15:00	27,5	28,59509	30,27694
05/07/2002 16:00	27,175	28,45227	30,52732
05/07/2002 17:00	26,8	28,36591	31,07266
05/07/2002 18:00	25,05	27,37128	30,86252
05/07/2002 19:00	22,775	26,02269	30,28647
05/07/2002 20:00	20,55	25,16221	29,71564
05/07/2002 21:00	19,55	24,44967	28,90551
05/07/2002 22:00	19,025	24,01914	28,02632
05/07/2002 23:00	18,45	23,80629	26,86315
Día 4	18	23,44419	26,14383
06/07/2002 1:00	17,675	23,11079	25,62332
06/07/2002 2:00	17,3	22,93807	25,25031
06/07/2002 3:00	18,025	22,81161	24,92342
06/07/2002 4:00	19,2	23,01191	24,99824
06/07/2002 5:00	20,325	23,81819	26,05305
06/07/2002 6:00	21,95	24,51917	27,22178
06/07/2002 7:00	23,825	25,56858	28,66831
06/07/2002 8:00	25,65	26,93052	29,69172
06/07/2002 9:00	27,075	27,78181	30,23404
06/07/2002 10:00	28,375	28,25207	30,14093
06/07/2002 11:00	29,675	28,99218	30,33509

12:00	29,7	29,30699	30,51367
06/07/2002 13:00	29,375	29,21716	30,42104
06/07/2002 14:00	29	29,02107	30,21506
06/07/2002 15:00	29,05	29,0571	30,26521
06/07/2002 16:00	29,175	29,11419	30,38417
06/07/2002 17:00	29,35	29,29916	30,68607
06/07/2002 18:00	28,05	28,62899	30,62663
06/07/2002 19:00	26,175	27,51147	30,35699
06/07/2002 20:00	24,35	26,46022	30,13546
06/07/2002 21:00	23,9	25,80187	29,54851
06/07/2002 22:00	23,9	25,45153	29,02054
06/07/2002 23:00	23,9	24,97537	28,02476
Día 5	23,225	24,60244	27,38142
07/07/2002 1:00	22,25	24,19328	26,86722
07/07/2002 2:00	21,325	23,99522	26,38688
07/07/2002 3:00	21,25	23,84994	26,07718
07/07/2002 4:00	21,45	23,92229	25,98747
07/07/2002 5:00	21,65	24,37938	26,91143
07/07/2002 6:00	23,35	25,45429	28,44035
07/07/2002 7:00	25,55	26,91907	29,8016
07/07/2002 8:00	27,75	28,33684	30,74329
07/07/2002 9:00	29,275	29,20623	31,22967
07/07/2002 10:00	30,575	29,78137	31,27923
07/07/2002 11:00	31,875	30,46155	31,5689
12:00	32,5	30,80409	31,68071
07/07/2002 13:00	32,825	31,01881	31,8029
07/07/2002 14:00	33,2	31,14246	31,84971
07/07/2002 15:00	32,775	31,31071	31,96013
07/07/2002 16:00	32	31,15994	31,90257
07/07/2002 17:00	31,275	31,08149	32,14287
07/07/2002 18:00	29,825	30,22849	31,91396
07/07/2002 19:00	28,2	29,15492	31,56407
07/07/2002 20:00	26,525	28,11471	31,27838
07/07/2002 21:00	25,8	27,32342	30,62029
07/07/2002 22:00	25,475	26,81418	30,01178
07/07/2002 23:00	25,1	26,15545	28,90564
Día 6	24,7	25,69477	28,29162
08/07/2002 1:00	24,375	25,31965	27,86934
08/07/2002 2:00	24	24,96705	27,53751
08/07/2002 3:00	24,05	24,81093	27,28152
08/07/2002 4:00	24,175	24,79082	27,11656
08/07/2002 5:00	24,35	25,14663	27,61453
08/07/2002 6:00	25,375	26,38862	29,03742
08/07/2002 7:00	26,675	27,60079	30,09573
08/07/2002 8:00	27,975	28,53866	30,70512
08/07/2002 9:00	29,275	29,30717	31,13071

08/07/2002 10:00	30,575	29,94848	31,29567
08/07/2002 11:00	31,875	30,62016	31,7086
12:00	32,725	31,10522	31,98188
08/07/2002 13:00	33,5	31,41494	32,20507
08/07/2002 14:00	34,225	31,60697	32,32087
08/07/2002 15:00	33,875	31,94619	32,59862
08/07/2002 16:00	33,1	32,24398	32,927
08/07/2002 17:00	32,375	32,36885	33,45377
08/07/2002 18:00	30,7	31,5108	33,27224
08/07/2002 19:00	28,625	30,12558	32,76979
08/07/2002 20:00	26,6	28,80085	32,21541
08/07/2002 21:00	24,975	27,51192	31,40297
08/07/2002 22:00	23,55	26,35834	30,55541
08/07/2002 23:00	22,075	25,42166	29,29007
Día 7	21,55	24,98136	28,60103
09/07/2002 1:00	21,35	24,65714	28,08102
09/07/2002 2:00	21,15	24,39797	27,72863
09/07/2002 3:00	20,95	24,33795	27,39472
09/07/2002 4:00	20,825	24,00713	27,13812
09/07/2002 5:00	20,65	24,18831	27,44777
09/07/2002 6:00	22,4	25,21034	29,04367
09/07/2002 7:00	24,8	26,53389	30,2491
09/07/2002 8:00	27,2	28,16571	31,13002
09/07/2002 9:00	25,175	27,12613	30,68032
09/07/2002 10:00	21,6	27,09675	29,57273
09/07/2002 11:00	18,075	26,06218	27,88842
12:00	18,475	25,67408	27,31613
09/07/2002 13:00	20,1	25,90596	27,48505
09/07/2002 14:00	21,775	26,13748	27,60356
09/07/2002 15:00	22,05	25,05305	27,83
09/07/2002 16:00	21,925	24,89983	28,09995
09/07/2002 17:00	21,75	24,93373	28,63055
09/07/2002 18:00	21,1	24,73916	28,73044
09/07/2002 19:00	20,375	24,50967	28,65508
09/07/2002 20:00	19,6	24,27058	28,54557
09/07/2002 21:00	19,4	24,0139	28,03918
09/07/2002 22:00	19,4	23,78488	27,50145
09/07/2002 23:00	19,4	23,56927	26,54408

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES INVIERNO
DIFERENTES ORIENTACIONES

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op. 45 (° C)	T. Op. 270 (° C)
Día 1	-10,6	19,03307	19,05278	18,92503
11/01/2002 1:00	-11,575	18,8112	18,71391	18,61785
11/01/2002 2:00	-12,95	17,86782	17,77966	17,603
11/01/2002 3:00	-13,375	16,32815	16,25485	15,99197
11/01/2002 4:00	-13,55	15,03245	14,96104	14,81385
11/01/2002 5:00	-13,825	14,28374	14,20321	13,84962
11/01/2002 6:00	-13,3	14,06213	13,9878	13,63452
11/01/2002 7:00	-12,5	17,71218	17,64402	18,29576
11/01/2002 8:00	-11,85	18,1346	18,04626	17,574
11/01/2002 9:00	-9,375	18,97808	18,9067	19,85955
11/01/2002 10:00	-6,425	19,39398	19,40752	19,41597
11/01/2002 11:00	-3,525	20,02427	20,19531	19,79075
12:00	-2,275	19,88155	19,99408	19,73383
11/01/2002 13:00	-1,725	22,8338	22,95846	22,70956
11/01/2002 14:00	-1,225	23,09213	23,1498	23,00439
11/01/2002 15:00	-1,325	22,08458	22,17082	21,99592
11/01/2002 16:00	-1,625	19,21382	19,33402	19,14792
11/01/2002 17:00	-2,075	18,60243	18,77777	18,41096
11/01/2002 18:00	-3,1	18,04014	18,01673	17,72704
11/01/2002 19:00	-4,375	19,08724	19,05415	19,14451
11/01/2002 20:00	-5,75	19,05526	19,20675	19,23576
11/01/2002 21:00	-7,15	19,22493	18,78848	18,8321
11/01/2002 22:00	-8,625	19,37265	20,37041	19,80631
11/01/2002 23:00	-10,2	19,38734	19,61449	19,62035
Día 2	-10,825	18,81913	18,84911	18,73489
12/01/2002 1:00	-11,125	18,52469	18,47458	18,35345
12/01/2002 2:00	-11,575	17,65044	17,55843	17,39538
12/01/2002 3:00	-12,3	16,16438	16,07994	15,86197
12/01/2002 4:00	-13,175	14,87919	14,79296	14,52588
12/01/2002 5:00	-14,15	14,11789	14,03452	13,75694
12/01/2002 6:00	-14,475	13,79148	13,71087	13,44049
12/01/2002 7:00	-14,65	13,97564	13,77351	13,24914
12/01/2002 8:00	-14,925	14,92099	14,63973	13,25547
12/01/2002 9:00	-13,65	15,45291	15,54519	13,5488
12/01/2002 10:00	-12	18,99524	18,52561	18,1517
12/01/2002 11:00	-10,4	18,62347	19,07173	18,01814
12:00	-9,4	18,93379	18,90054	18,47372
12/01/2002 13:00	-8,6	19,49085	19,95547	19,02368

12/01/2002 14:00	-7,95	19,36112	19,62813	19,23886
12/01/2002 15:00	-7,875	19,85135	20,12857	19,50748
12/01/2002 16:00	-7,975	19,53794	19,82723	19,24779
12/01/2002 17:00	-8,225	18,63486	18,86393	18,44171
12/01/2002 18:00	-9,05	17,67789	17,93786	17,50309
12/01/2002 19:00	-10,2	19,15688	19,33748	18,76516
12/01/2002 20:00	-11,4	19,42004	19,26986	18,042
12/01/2002 21:00	-12	18,47589	18,56227	18,07585
12/01/2002 22:00	-12,55	18,29537	18,37851	18,09134
12/01/2002 23:00	-13,15	18,19074	18,5465	17,6874
Día 3	-14,5	17,53898	17,7897	16,90569
13/01/2002 1:00	-16,1	17,10708	17,35635	16,41657
13/01/2002 2:00	-17,85	16,05904	16,28036	15,37382
13/01/2002 3:00	-18,825	14,38519	14,56955	13,68548
13/01/2002 4:00	-19,525	13,04219	13,18921	12,37059
13/01/2002 5:00	-20,375	11,87585	12,07703	11,2947
13/01/2002 6:00	-20,225	11,42369	11,51915	10,7851
13/01/2002 7:00	-19,8	11,61762	11,50317	10,55368
13/01/2002 8:00	-19,475	12,52202	12,24557	10,50961
13/01/2002 9:00	-18,35	13,21052	13,0534	10,66895
13/01/2002 10:00	-17,1	18,40287	18,45147	15,94958
13/01/2002 11:00	-15,9	19,56056	19,72692	17,48038
12:00	-14,925	20,18869	19,35609	18,42371
13/01/2002 13:00	-14,175	20,34288	18,66913	19,00774
13/01/2002 14:00	-13,475	19,28756	19,42783	18,60908
13/01/2002 15:00	-14,35	18,26204	18,56787	17,82689
13/01/2002 16:00	-15,825	17,40869	17,5503	16,95774
13/01/2002 17:00	-17,4	16,35149	16,48662	15,68036
13/01/2002 18:00	-18,1	15,31591	15,42183	14,68174
13/01/2002 19:00	-18,65	18,43222	18,3527	17,94333
13/01/2002 20:00	-19,25	19,11909	18,95459	18,68185
13/01/2002 21:00	-20,15	19,46837	19,21227	19,04894
13/01/2002 22:00	-21,3	19,25877	19,03004	18,95538
13/01/2002 23:00	-22,5	16,73746	16,56395	16,35583
Día 4	-23,025	15,41886	15,28744	14,96899
14/01/2002 1:00	-23,325	14,79713	14,67227	14,35424
14/01/2002 2:00	-23,775	13,76404	13,66894	13,31018
14/01/2002 3:00	-23,825	12,24792	12,1762	11,78899
14/01/2002 4:00	-23,8	10,9844	10,92166	10,52039
14/01/2002 5:00	-23,875	10,057	10,00145	9,591547
14/01/2002 6:00	-23,525	9,776621	9,712268	9,314098
14/01/2002 7:00	-23,175	15,19546	15,04518	14,62432
14/01/2002 8:00	-22,875	17,09713	16,87701	16,0127
14/01/2002 9:00	-21,225	18,42929	18,25982	16,48786
14/01/2002 10:00	-19,125	18,15121	18,46833	16,07794
14/01/2002 11:00	-17,175	18,56593	19,36492	16,68499

12:00	-16,175	18,29699	19,11444	16,83397
14/01/2002 13:00	-15,625	20,33381	20,87175	19,40973
14/01/2002 14:00	-15,125	20,20865	20,61144	19,62956
14/01/2002 15:00	-15,075	18,90744	19,17352	18,33037
14/01/2002 16:00	-15,25	16,72005	16,93644	16,06666
14/01/2002 17:00	-15,525	15,10711	15,27834	14,37144
14/01/2002 18:00	-15,525	14,5987	14,73503	13,8257
14/01/2002 19:00	-15,5	18,96709	19,06973	18,38831
14/01/2002 20:00	-15,575	18,87921	17,72283	19,54235
14/01/2002 21:00	-15,825	18,25388	18,74139	16,38536
14/01/2002 22:00	-16,125	18,41679	18,72311	17,73294
14/01/2002 23:00	-16,575	17,46027	17,66642	16,89998
Día 5	-16,025	16,68694	16,80985	16,01107
15/01/2002 1:00	-15,275	16,35996	16,4944	15,75255
15/01/2002 2:00	-14,575	15,61032	15,76835	15,04203
15/01/2002 3:00	-14,325	14,25313	14,32479	13,64315
15/01/2002 4:00	-14,3	12,97682	13,03077	12,25649
15/01/2002 5:00	-14,375	11,77952	11,92555	11,41802
15/01/2002 6:00	-14,025	11,51503	11,65723	11,16657
15/01/2002 7:00	-13,675	17,03504	17,15049	16,61229
15/01/2002 8:00	-13,375	18,3164	18,43353	17,95683
15/01/2002 9:00	-11,95	18,52382	18,59433	18,09224
15/01/2002 10:00	-10,3	17,95828	18,05187	17,15071
15/01/2002 11:00	-8,7	18,90506	19,45176	17,56223
12:00	-8,375	19,03521	19,71449	17,61992
15/01/2002 13:00	-8,55	21,33476	22,14673	20,16461
15/01/2002 14:00	-8,825	21,13542	21,95363	20,43233
15/01/2002 15:00	-9,35	19,79085	20,5301	19,39754
15/01/2002 16:00	-10,1	17,19681	17,51976	17,05158
15/01/2002 17:00	-10,9	15,54119	15,97012	15,44952
15/01/2002 18:00	-10,875	14,91189	15,15333	14,88242
15/01/2002 19:00	-10,725	19,11988	19,37683	19,12698
15/01/2002 20:00	-10,625	19,95422	20,24475	17,99629
15/01/2002 21:00	-11,05	20,425	17,82413	18,0638
15/01/2002 22:00	-11,8	19,08506	18,54789	18,15769
15/01/2002 23:00	-12,6	17,52601	17,35407	17,08011
Día 6	-13,4	16,59648	16,37206	16,2315
16/01/2002 1:00	-14,35	16,12391	15,982	15,78983
16/01/2002 2:00	-15,35	15,17531	15,08795	14,88684
16/01/2002 3:00	-15,9	13,65544	13,66372	13,40084
16/01/2002 4:00	-16,45	12,37393	12,39616	12,09421
16/01/2002 5:00	-17,05	11,48093	11,44614	11,12362
16/01/2002 6:00	-16,6	11,23166	11,20885	10,86981
16/01/2002 7:00	-15,8	17,26117	17,11869	16,46104
16/01/2002 8:00	-15,15	19,61271	18,15045	18,17456
16/01/2002 9:00	-13,425	20,47504	19,84725	18,77515

16/01/2002 10:00	-11,325	19,99722	20,07663	18,29623
16/01/2002 11:00	-9,375	20,27608	20,89307	18,72099
12:00	-8,525	20,34236	21,22274	18,87942
16/01/2002 13:00	-8,175	22,86333	23,95466	21,78421
16/01/2002 14:00	-7,875	22,86739	24,05474	22,23789
16/01/2002 15:00	-9,225	21,4766	22,35495	21,21345
16/01/2002 16:00	-11,275	18,17488	18,51068	17,87838
16/01/2002 17:00	-13,375	17,23846	17,58511	16,9018
16/01/2002 18:00	-14,5	16,41692	16,64644	16,02829
16/01/2002 19:00	-15,45	18,30978	18,72836	17,93861
16/01/2002 20:00	-16,45	18,42035	18,91078	18,01275
16/01/2002 21:00	-15,2	18,64359	19,19814	18,30856
16/01/2002 22:00	-13,35	19,52397	19,99233	18,98537
16/01/2002 23:00	-11,55	18,75997	19,23366	18,31782
Día 7	-11,025	17,89044	18,26711	17,40073
17/01/2002 1:00	-11	17,37979	17,69337	16,98376
17/01/2002 2:00	-11,075	16,14946	16,47552	15,8339
17/01/2002 3:00	-10,875	14,64686	14,93607	14,31763
17/01/2002 4:00	-10,725	13,41562	13,69173	13,02488
17/01/2002 5:00	-10,625	12,73765	12,99926	12,37193
17/01/2002 6:00	-10,225	12,52389	12,77771	12,20249
17/01/2002 7:00	-9,8	17,75175	17,97875	17,63085
17/01/2002 8:00	-9,475	18,89612	19,07881	18,82361
17/01/2002 9:00	-8,65	18,97834	19,1461	18,89581
17/01/2002 10:00	-7,725	18,25553	18,48752	18,17113
17/01/2002 11:00	-6,9	18,7455	18,9432	18,42068
12:00	-5,95	18,90815	19,08487	18,42824
17/01/2002 13:00	-4,95	21,90512	22,24909	21,45952
17/01/2002 14:00	-4,1	22,17841	22,48997	21,83168
17/01/2002 15:00	-4,275	21,14795	21,48541	20,90212
17/01/2002 16:00	-4,775	18,15207	18,2414	17,47651
17/01/2002 17:00	-5,425	17,50003	17,55256	17,0376
17/01/2002 18:00	-5,675	16,87699	17,04296	16,39566
17/01/2002 19:00	-5,775	18,73787	18,86325	18,92055
17/01/2002 20:00	-6,025	18,97444	18,93515	18,93451
17/01/2002 21:00	-5,875	19,1036	18,6973	19,56895
17/01/2002 22:00	-5,725	20,10903	19,57222	20,15274
17/01/2002 23:00	-5,625	18,99087	18,7947	19,28164

**TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO
VOLADIZOS
CON VENTILACION NATURAL**

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op. 0 Sin Voladizos (° C)
Día 1	21,65	23,9815	24,2553
03/07/2002 1:00	22,175	23,98276	24,19194
03/07/2002 2:00	21,8	23,90837	24,05745
03/07/2002 3:00	21,25	23,8113	23,9407
03/07/2002 4:00	20,725	23,79881	23,82788
03/07/2002 5:00	20,15	23,55947	23,72467
03/07/2002 6:00	19,7	23,47467	23,67598
03/07/2002 7:00	19,375	23,58245	23,614
03/07/2002 8:00	19	23,69254	23,91032
03/07/2002 9:00	20,55	24,18125	24,75374
03/07/2002 10:00	22,825	25,73142	27,65303
03/07/2002 11:00	25,05	26,78323	28,75986
12:00	26,275	27,48282	29,40838
03/07/2002 13:00	27,175	27,8977	29,8205
03/07/2002 14:00	28,075	28,15382	30,01997
03/07/2002 15:00	28,45	28,38284	29,45174
03/07/2002 16:00	28,65	28,65835	29,5386
03/07/2002 17:00	28,85	28,9807	29,67238
03/07/2002 18:00	27,775	28,3382	28,88957
03/07/2002 19:00	26,275	27,37622	27,81335
03/07/2002 20:00	24,775	26,22296	26,58353
03/07/2002 21:00	23,125	25,3768	25,64811
03/07/2002 22:00	21,5	24,75432	24,94884
03/07/2002 23:00	19,825	24,00223	24,25433
Día 2	19,7	23,88165	23,94495
04/07/2002 1:00	20,1	23,82336	23,99866
04/07/2002 2:00	20,5	23,70046	23,87897
04/07/2002 3:00	20,45	23,56403	23,76812
04/07/2002 4:00	20,25	23,43915	23,66145
04/07/2002 5:00	20,05	23,34086	23,65932
04/07/2002 6:00	21,125	23,95919	24,18237
04/07/2002 7:00	22,55	24,65571	24,94097
04/07/2002 8:00	24,025	25,63836	26,28586
04/07/2002 9:00	25,075	26,38194	27,48377
04/07/2002 10:00	26,05	27,57038	29,66499
04/07/2002 11:00	26,975	28,33273	30,55593
12:00	27,65	28,66503	30,82048
04/07/2002 13:00	28,175	28,83911	30,93423

04/07/2002 14:00	28,75	28,87398	30,84977
04/07/2002 15:00	28,375	28,67228	29,73622
04/07/2002 16:00	27,6	28,3643	29,1797
04/07/2002 17:00	26,875	28,09391	28,78806
04/07/2002 18:00	24,75	26,8986	27,44853
04/07/2002 19:00	22,15	25,64721	26,06104
04/07/2002 20:00	19,55	24,88505	25,20509
04/07/2002 21:00	17,925	24,11339	24,34444
04/07/2002 22:00	16,625	23,63039	23,80605
04/07/2002 23:00	15,325	23,3674	23,51633
Día 3	14,475	23,00037	23,14169
05/07/2002 1:00	13,7	22,56693	22,70995
05/07/2002 2:00	12,975	22,30504	22,39553
05/07/2002 3:00	13,625	22,14954	22,26091
05/07/2002 4:00	14,725	22,22165	22,36831
05/07/2002 5:00	15,825	22,79973	22,96982
05/07/2002 6:00	18,05	24,01171	24,11194
05/07/2002 7:00	20,65	25,06968	25,57609
05/07/2002 8:00	23,25	25,87745	26,7548
05/07/2002 9:00	24,575	26,48299	27,73786
05/07/2002 10:00	25,55	27,65082	30,05368
05/07/2002 11:00	26,475	28,58616	31,06293
12:00	27	29,03268	31,38516
05/07/2002 13:00	27,325	29,21745	31,54688
05/07/2002 14:00	27,7	29,2516	31,4754
05/07/2002 15:00	27,5	28,59509	29,80013
05/07/2002 16:00	27,175	28,45227	29,42602
05/07/2002 17:00	26,8	28,36591	29,17595
05/07/2002 18:00	25,05	27,37128	28,0439
05/07/2002 19:00	22,775	26,02269	26,54727
05/07/2002 20:00	20,55	25,16221	25,5647
05/07/2002 21:00	19,55	24,44967	24,809
05/07/2002 22:00	19,025	24,01914	24,35335
05/07/2002 23:00	18,45	23,80629	23,93364
Día 4	18	23,44419	23,62305
06/07/2002 1:00	17,675	23,11079	23,36615
06/07/2002 2:00	17,3	22,93807	23,07413
06/07/2002 3:00	18,025	22,81161	22,89788
06/07/2002 4:00	19,2	23,01191	23,10477
06/07/2002 5:00	20,325	23,81819	23,92636
06/07/2002 6:00	21,95	24,51917	24,83291
06/07/2002 7:00	23,825	25,56858	26,1241
06/07/2002 8:00	25,65	26,93052	27,78556
06/07/2002 9:00	27,075	27,78181	28,95788
06/07/2002 10:00	28,375	28,25207	29,56159
06/07/2002 11:00	29,675	28,99218	30,16578

12:00	29,7	29,30699	30,39872
06/07/2002 13:00	29,375	29,21716	30,1355
06/07/2002 14:00	29	29,02107	29,80065
06/07/2002 15:00	29,05	29,0571	29,74423
06/07/2002 16:00	29,175	29,11419	29,75127
06/07/2002 17:00	29,35	29,29916	29,80308
06/07/2002 18:00	28,05	28,62899	29,05945
06/07/2002 19:00	26,175	27,51147	27,8856
06/07/2002 20:00	24,35	26,46022	26,76017
06/07/2002 21:00	23,9	25,80187	26,04519
06/07/2002 22:00	23,9	25,45153	25,65366
06/07/2002 23:00	23,9	24,97537	25,14955
Día 5	23,225	24,60244	24,77028
07/07/2002 1:00	22,25	24,19328	24,34513
07/07/2002 2:00	21,325	23,99522	24,07464
07/07/2002 3:00	21,25	23,84994	23,99503
07/07/2002 4:00	21,45	23,92229	23,92098
07/07/2002 5:00	21,65	24,37938	24,52881
07/07/2002 6:00	23,35	25,45429	25,76336
07/07/2002 7:00	25,55	26,91907	27,47065
07/07/2002 8:00	27,75	28,33684	29,21284
07/07/2002 9:00	29,275	29,20623	30,48861
07/07/2002 10:00	30,575	29,78137	31,28889
07/07/2002 11:00	31,875	30,46155	31,95386
12:00	32,5	30,80409	32,31004
07/07/2002 13:00	32,825	31,01881	32,54211
07/07/2002 14:00	33,2	31,14246	32,65788
07/07/2002 15:00	32,775	31,31071	32,53083
07/07/2002 16:00	32	31,15994	32,05545
07/07/2002 17:00	31,275	31,08149	31,68514
07/07/2002 18:00	29,825	30,22849	30,72085
07/07/2002 19:00	28,2	29,15492	29,54906
07/07/2002 20:00	26,525	28,11471	28,43651
07/07/2002 21:00	25,8	27,32342	27,58884
07/07/2002 22:00	25,475	26,81418	27,03612
07/07/2002 23:00	25,1	26,15545	26,34504
Día 6	24,7	25,69477	25,86053
08/07/2002 1:00	24,375	25,31965	25,46598
08/07/2002 2:00	24	24,96705	25,09949
08/07/2002 3:00	24,05	24,81093	24,92391
08/07/2002 4:00	24,175	24,79082	24,90363
08/07/2002 5:00	24,35	25,14663	25,29494
08/07/2002 6:00	25,375	26,38862	26,63912
08/07/2002 7:00	26,675	27,60079	28,03214
08/07/2002 8:00	27,975	28,53866	29,25938
08/07/2002 9:00	29,275	29,30717	30,46177

08/07/2002 10:00	30,575	29,94848	32,09867
08/07/2002 11:00	31,875	30,62016	32,77323
12:00	32,725	31,10522	33,19205
08/07/2002 13:00	33,5	31,41494	33,52217
08/07/2002 14:00	34,225	31,60697	33,65593
08/07/2002 15:00	33,875	31,94619	33,70959
08/07/2002 16:00	33,1	32,24398	33,51329
08/07/2002 17:00	32,375	32,36885	33,27751
08/07/2002 18:00	30,7	31,5108	32,22857
08/07/2002 19:00	28,625	30,12558	30,67342
08/07/2002 20:00	26,6	28,80085	29,23277
08/07/2002 21:00	24,975	27,51192	27,87294
08/07/2002 22:00	23,55	26,35834	26,6444
08/07/2002 23:00	22,075	25,42166	25,69253
Día 7	21,55	24,98136	25,14772
09/07/2002 1:00	21,35	24,65714	24,78309
09/07/2002 2:00	21,15	24,39797	24,52993
09/07/2002 3:00	20,95	24,33795	24,42194
09/07/2002 4:00	20,825	24,00713	24,26468
09/07/2002 5:00	20,65	24,18831	24,4197
09/07/2002 6:00	22,4	25,21034	25,42975
09/07/2002 7:00	24,8	26,53389	27,04526
09/07/2002 8:00	27,2	28,16571	29,00164
09/07/2002 9:00	25,175	27,12613	27,99395
09/07/2002 10:00	21,6	27,09675	28,25315
09/07/2002 11:00	18,075	26,06218	27,03318
12:00	18,475	25,67408	26,62787
09/07/2002 13:00	20,1	25,90596	26,94327
09/07/2002 14:00	21,775	26,13748	27,2025
09/07/2002 15:00	22,05	25,05305	25,6054
09/07/2002 16:00	21,925	24,89983	25,42152
09/07/2002 17:00	21,75	24,93373	25,32927
09/07/2002 18:00	21,1	24,73916	25,09164
09/07/2002 19:00	20,375	24,50967	24,7991
09/07/2002 20:00	19,6	24,27058	24,47345
09/07/2002 21:00	19,4	24,0139	24,14932
09/07/2002 22:00	19,4	23,78488	23,87865
09/07/2002 23:00	19,4	23,56927	23,83701

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO
VOLADIZOS
SIN VENTILACION NATURAL

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op 0 Sin Voladizos (° C)
Día 1	21,65	26,40336	26,74235
03/07/2002 1:00	22,175	26,14057	26,40482
03/07/2002 2:00	21,8	25,91982	26,12306
03/07/2002 3:00	21,25	25,67129	25,80143
03/07/2002 4:00	20,725	25,4678	25,65437
03/07/2002 5:00	20,15	25,6262	25,63025
03/07/2002 6:00	19,7	26,08817	26,15818
03/07/2002 7:00	19,375	26,05286	26,14079
03/07/2002 8:00	19	25,96205	26,18353
03/07/2002 9:00	20,55	26,5074	27,46248
03/07/2002 10:00	22,825	27,32542	29,5188
03/07/2002 11:00	25,05	27,96848	30,20157
12:00	26,275	28,41612	30,66542
03/07/2002 13:00	27,175	28,68485	30,9751
03/07/2002 14:00	28,075	28,85355	31,09944
03/07/2002 15:00	28,45	29,20505	31,28198
03/07/2002 16:00	28,65	29,65672	31,62244
03/07/2002 17:00	28,85	30,27343	32,02781
03/07/2002 18:00	27,775	30,1603	31,58783
03/07/2002 19:00	26,275	29,82351	30,91928
03/07/2002 20:00	24,775	29,11408	29,95373
03/07/2002 21:00	23,125	28,46592	29,12653
03/07/2002 22:00	21,5	27,94891	28,49512
03/07/2002 23:00	19,825	26,9083	27,24349
Día 2	19,7	26,2719	26,51841
04/07/2002 1:00	20,1	25,85227	26,02703
04/07/2002 2:00	20,5	25,59356	25,65401
04/07/2002 3:00	20,45	25,30397	25,41338
04/07/2002 4:00	20,25	25,1216	25,1782
04/07/2002 5:00	20,05	25,40862	25,4272
04/07/2002 6:00	21,125	26,33211	26,60893
04/07/2002 7:00	22,55	27,17543	27,73421
04/07/2002 8:00	24,025	28,37026	29,63306
04/07/2002 9:00	25,075	28,96022	31,20749
04/07/2002 10:00	26,05	29,13485	32,06792
04/07/2002 11:00	26,975	29,47736	32,32369
12:00	27,65	29,6036	32,33223
04/07/2002 13:00	28,175	29,64842	32,2889

04/07/2002 14:00	28,75	29,58728	32,08062
04/07/2002 15:00	28,375	29,72024	31,8759
04/07/2002 16:00	27,6	29,93304	31,83236
04/07/2002 17:00	26,875	30,45171	32,03767
04/07/2002 18:00	24,75	30,24717	31,5221
04/07/2002 19:00	22,15	29,73442	30,62133
04/07/2002 20:00	19,55	29,14043	29,8192
04/07/2002 21:00	17,925	28,35299	28,77421
04/07/2002 22:00	16,625	27,45444	27,59732
04/07/2002 23:00	15,325	26,24526	26,27938
Día 3	14,475	25,47713	25,39115
05/07/2002 1:00	13,7	24,77477	24,68088
05/07/2002 2:00	12,975	24,18285	24,21066
05/07/2002 3:00	13,625	23,79753	23,77781
05/07/2002 4:00	14,725	23,76977	23,7366
05/07/2002 5:00	15,825	24,71633	24,7428
05/07/2002 6:00	18,05	26,75673	27,27077
05/07/2002 7:00	20,65	28,51757	29,68328
05/07/2002 8:00	23,25	29,35085	31,42855
05/07/2002 9:00	24,575	29,72555	32,49313
05/07/2002 10:00	25,55	29,73556	33,07896
05/07/2002 11:00	26,475	30,06433	33,29262
12:00	27	30,17822	33,27465
05/07/2002 13:00	27,325	30,22478	33,22605
05/07/2002 14:00	27,7	30,14696	32,98252
05/07/2002 15:00	27,5	30,27694	32,75549
05/07/2002 16:00	27,175	30,52732	32,75547
05/07/2002 17:00	26,8	31,07266	32,97849
05/07/2002 18:00	25,05	30,86252	32,3969
05/07/2002 19:00	22,775	30,28647	31,40474
05/07/2002 20:00	20,55	29,71564	30,5327
05/07/2002 21:00	19,55	28,90551	29,4122
05/07/2002 22:00	19,025	28,02632	28,41145
05/07/2002 23:00	18,45	26,86315	27,12568
Día 4	18	26,14383	26,30737
06/07/2002 1:00	17,675	25,62332	25,72405
06/07/2002 2:00	17,3	25,25031	25,28274
06/07/2002 3:00	18,025	24,92342	24,92616
06/07/2002 4:00	19,2	24,99824	25,05407
06/07/2002 5:00	20,325	26,05305	26,21268
06/07/2002 6:00	21,95	27,22178	27,75181
06/07/2002 7:00	23,825	28,66831	29,59134
06/07/2002 8:00	25,65	29,69172	31,78201
06/07/2002 9:00	27,075	30,23404	32,88221
06/07/2002 10:00	28,375	30,14093	32,9589
06/07/2002 11:00	29,675	30,33509	32,84348

12:00	29,7	30,51367	32,88851
06/07/2002 13:00	29,375	30,42104	32,57182
06/07/2002 14:00	29	30,21506	32,12964
06/07/2002 15:00	29,05	30,26521	32,00135
06/07/2002 16:00	29,175	30,38417	31,99596
06/07/2002 17:00	29,35	30,68607	32,10906
06/07/2002 18:00	28,05	30,62663	31,81718
06/07/2002 19:00	26,175	30,35699	31,21181
06/07/2002 20:00	24,35	30,13546	30,68861
06/07/2002 21:00	23,9	29,54851	29,96223
06/07/2002 22:00	23,9	29,02054	29,29755
06/07/2002 23:00	23,9	28,02476	28,21951
Día 5	23,225	27,38142	27,53699
07/07/2002 1:00	22,25	26,86722	26,92482
07/07/2002 2:00	21,325	26,38688	26,41828
07/07/2002 3:00	21,25	26,07718	26,00005
07/07/2002 4:00	21,45	25,98747	25,95836
07/07/2002 5:00	21,65	26,91143	27,01795
07/07/2002 6:00	23,35	28,44035	28,91854
07/07/2002 7:00	25,55	29,8016	30,95464
07/07/2002 8:00	27,75	30,74329	32,67117
07/07/2002 9:00	29,275	31,22967	33,7787
07/07/2002 10:00	30,575	31,27923	34,12365
07/07/2002 11:00	31,875	31,5689	34,2063
12:00	32,5	31,68071	34,17388
07/07/2002 13:00	32,825	31,8029	34,13198
07/07/2002 14:00	33,2	31,84971	34,03733
07/07/2002 15:00	32,775	31,96013	33,96761
07/07/2002 16:00	32	31,90257	33,68919
07/07/2002 17:00	31,275	32,14287	33,61324
07/07/2002 18:00	29,825	31,91396	33,1133
07/07/2002 19:00	28,2	31,56407	32,39574
07/07/2002 20:00	26,525	31,27838	31,81945
07/07/2002 21:00	25,8	30,62029	30,99931
07/07/2002 22:00	25,475	30,01178	30,24397
07/07/2002 23:00	25,1	28,90564	29,08812
Día 6	24,7	28,29162	28,30551
08/07/2002 1:00	24,375	27,86934	27,84032
08/07/2002 2:00	24	27,53751	27,48195
08/07/2002 3:00	24,05	27,28152	27,20075
08/07/2002 4:00	24,175	27,11656	27,03485
08/07/2002 5:00	24,35	27,61453	27,56876
08/07/2002 6:00	25,375	29,03742	29,30436
08/07/2002 7:00	26,675	30,09573	30,8818
08/07/2002 8:00	27,975	30,70512	32,09751
08/07/2002 9:00	29,275	31,13071	33,34065

08/07/2002 10:00	30,575	31,29567	34,02139
08/07/2002 11:00	31,875	31,7086	34,37276
12:00	32,725	31,98188	34,62253
08/07/2002 13:00	33,5	32,20507	34,83081
08/07/2002 14:00	34,225	32,32087	34,87485
08/07/2002 15:00	33,875	32,59862	35,04802
08/07/2002 16:00	33,1	32,927	35,22636
08/07/2002 17:00	32,375	33,45377	35,42333
08/07/2002 18:00	30,7	33,27224	34,94786
08/07/2002 19:00	28,625	32,76979	34,00256
08/07/2002 20:00	26,6	32,21541	33,15063
08/07/2002 21:00	24,975	31,40297	32,11388
08/07/2002 22:00	23,55	30,55541	31,02744
08/07/2002 23:00	22,075	29,29007	29,64802
Día 7	21,55	28,60103	28,7876
09/07/2002 1:00	21,35	28,08102	28,20525
09/07/2002 2:00	21,15	27,72863	27,7849
09/07/2002 3:00	20,95	27,39472	27,39901
09/07/2002 4:00	20,825	27,13812	27,06876
09/07/2002 5:00	20,65	27,44777	27,39464
09/07/2002 6:00	22,4	29,04367	29,3338
09/07/2002 7:00	24,8	30,2491	30,96278
09/07/2002 8:00	27,2	31,13002	32,6324
09/07/2002 9:00	25,175	30,68032	32,31418
09/07/2002 10:00	21,6	29,57273	31,23674
09/07/2002 11:00	18,075	27,88842	29,08776
12:00	18,475	27,31613	28,33904
09/07/2002 13:00	20,1	27,48505	28,53813
09/07/2002 14:00	21,775	27,60356	28,67645
09/07/2002 15:00	22,05	27,83	28,7183
09/07/2002 16:00	21,925	28,09995	28,88505
09/07/2002 17:00	21,75	28,63055	29,20026
09/07/2002 18:00	21,1	28,73044	29,16565
09/07/2002 19:00	20,375	28,65508	28,91278
09/07/2002 20:00	19,6	28,54557	28,6362
09/07/2002 21:00	19,4	28,03918	28,03921
09/07/2002 22:00	19,4	27,50145	27,44273
09/07/2002 23:00	19,4	26,54408	26,4807

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES INVIERNO
INFLUENCIA VOLADIZOS

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Op. 0 (° C)	T. Op. 0 Sin Voladizos (° C)
Día 1	-10,6	19,03307	18,84255
11/01/2002 1:00	-11,575	18,8112	18,28982
11/01/2002 2:00	-12,95	17,86782	16,93424
11/01/2002 3:00	-13,375	16,32815	15,02193
11/01/2002 4:00	-13,55	15,03245	13,4393
11/01/2002 5:00	-13,825	14,28374	13,1124
11/01/2002 6:00	-13,3	14,06213	13,2168
11/01/2002 7:00	-12,5	17,71218	18,08186
11/01/2002 8:00	-11,85	18,1346	18,76357
11/01/2002 9:00	-9,375	18,97808	19,69318
11/01/2002 10:00	-6,425	19,39398	19,59694
11/01/2002 11:00	-3,525	20,02427	20,26396
12:00	-2,275	19,88155	20,04997
11/01/2002 13:00	-1,725	22,8338	23,22062
11/01/2002 14:00	-1,225	23,09213	23,52569
11/01/2002 15:00	-1,325	22,08458	22,48029
11/01/2002 16:00	-1,625	19,21382	19,30145
11/01/2002 17:00	-2,075	18,60243	18,36641
11/01/2002 18:00	-3,1	18,04014	17,65304
11/01/2002 19:00	-4,375	19,08724	19,24149
11/01/2002 20:00	-5,75	19,05526	19,45815
11/01/2002 21:00	-7,15	19,22493	19,43012
11/01/2002 22:00	-8,625	19,37265	20,56494
11/01/2002 23:00	-10,2	19,38734	19,72743
Día 2	-10,825	18,81913	18,63705
12/01/2002 1:00	-11,125	18,52469	17,96584
12/01/2002 2:00	-11,575	17,65044	16,73218
12/01/2002 3:00	-12,3	16,16438	14,85229
12/01/2002 4:00	-13,175	14,87919	13,27813
12/01/2002 5:00	-14,15	14,11789	13,9854
12/01/2002 6:00	-14,475	13,79148	13,36545
12/01/2002 7:00	-14,65	13,97564	13,01321
12/01/2002 8:00	-14,925	14,92099	14,3232
12/01/2002 9:00	-13,65	15,45291	14,96587
12/01/2002 10:00	-12	18,99524	18,86543
12/01/2002 11:00	-10,4	18,62347	19,87711
12:00	-9,4	18,93379	20,00006
12/01/2002 13:00	-8,6	19,49085	20,12021

12/01/2002 14:00	-7,95	19,36112	20,78405
12/01/2002 15:00	-7,875	19,85135	20,72363
12/01/2002 16:00	-7,975	19,53794	19,98927
12/01/2002 17:00	-8,225	18,63486	18,68108
12/01/2002 18:00	-9,05	17,67789	17,50323
12/01/2002 19:00	-10,2	19,15688	18,75569
12/01/2002 20:00	-11,4	19,42004	19,27197
12/01/2002 21:00	-12	18,47589	19,52992
12/01/2002 22:00	-12,55	18,29537	18,51432
12/01/2002 23:00	-13,15	18,19074	17,87947
Día 3	-14,5	17,53898	17,3256
13/01/2002 1:00	-16,1	17,10708	16,56985
13/01/2002 2:00	-17,85	16,05904	15,3654
13/01/2002 3:00	-18,825	14,38519	13,7856
13/01/2002 4:00	-19,525	13,04219	12,5975
13/01/2002 5:00	-20,375	11,87585	10,9854
13/01/2002 6:00	-20,225	11,42369	10,9777
13/01/2002 7:00	-19,8	11,61762	10,8567
13/01/2002 8:00	-19,475	12,52202	12,98563
13/01/2002 9:00	-18,35	13,21052	12,32569
13/01/2002 10:00	-17,1	18,40287	18,00275
13/01/2002 11:00	-15,9	19,56056	19,87642
12:00	-14,925	20,18869	20,94389
13/01/2002 13:00	-14,175	20,34288	21,50107
13/01/2002 14:00	-13,475	19,28756	20,36881
13/01/2002 15:00	-14,35	18,26204	18,61413
13/01/2002 16:00	-15,825	17,40869	17,30093
13/01/2002 17:00	-17,4	16,35149	15,67193
13/01/2002 18:00	-18,1	15,31591	14,23775
13/01/2002 19:00	-18,65	18,43222	17,43067
13/01/2002 20:00	-19,25	19,11909	18,17507
13/01/2002 21:00	-20,15	19,46837	18,59265
13/01/2002 22:00	-21,3	19,25877	18,41203
13/01/2002 23:00	-22,5	16,73746	15,59855
Día 4	-23,025	15,41886	14,00458
14/01/2002 1:00	-23,325	14,79713	14,45778
14/01/2002 2:00	-23,775	13,76404	13,65887
14/01/2002 3:00	-23,825	12,24792	11,96523
14/01/2002 4:00	-23,8	10,9844	10,522354
14/01/2002 5:00	-23,875	10,057	9,32569
14/01/2002 6:00	-23,525	9,776621	8,569632
14/01/2002 7:00	-23,175	15,19546	13,96589
14/01/2002 8:00	-22,875	17,09713	15,96586
14/01/2002 9:00	-21,225	18,42929	17,325698
14/01/2002 10:00	-19,125	18,15121	17,96523
14/01/2002 11:00	-17,175	18,56593	18,27768

12:00	-16,175	18,29699	18,1197
14/01/2002 13:00	-15,625	20,33381	20,16058
14/01/2002 14:00	-15,125	20,20865	19,91963
14/01/2002 15:00	-15,075	18,90744	18,34655
14/01/2002 16:00	-15,25	16,72005	15,73284
14/01/2002 17:00	-15,525	15,10711	14,02323
14/01/2002 18:00	-15,525	14,5987	13,65236
14/01/2002 19:00	-15,5	18,96709	17,965236
14/01/2002 20:00	-15,575	18,87921	18,86803
14/01/2002 21:00	-15,825	18,25388	19,65143
14/01/2002 22:00	-16,125	18,41679	18,35443
14/01/2002 23:00	-16,575	17,46027	16,72231
Día 5	-16,025	16,68694	15,45708
15/01/2002 1:00	-15,275	16,35996	15,02437
15/01/2002 2:00	-14,575	15,61032	14,9878
15/01/2002 3:00	-14,325	14,25313	13,5687
15/01/2002 4:00	-14,3	12,97682	11,9876464
15/01/2002 5:00	-14,375	11,77952	10,854343
15/01/2002 6:00	-14,025	11,51503	9,98545
15/01/2002 7:00	-13,675	17,03504	15,975431
15/01/2002 8:00	-13,375	18,3164	16,68864
15/01/2002 9:00	-11,95	18,52382	16,85394
15/01/2002 10:00	-10,3	17,95828	16,74597
15/01/2002 11:00	-8,7	18,90506	18,31847
12:00	-8,375	19,03521	18,79982
15/01/2002 13:00	-8,55	21,33476	21,73218
15/01/2002 14:00	-8,825	21,13542	21,62736
15/01/2002 15:00	-9,35	19,79085	19,84369
15/01/2002 16:00	-10,1	17,19681	16,76201
15/01/2002 17:00	-10,9	15,54119	14,59866
15/01/2002 18:00	-10,875	14,91189	13,67759
15/01/2002 19:00	-10,725	19,11988	18,14605
15/01/2002 20:00	-10,625	19,95422	19,21791
15/01/2002 21:00	-11,05	20,425	19,84047
15/01/2002 22:00	-11,8	19,08506	18,51888
15/01/2002 23:00	-12,6	17,52601	16,57113
Día 6	-13,4	16,59648	16,02365
16/01/2002 1:00	-14,35	16,12391	15,6589
16/01/2002 2:00	-15,35	15,17531	14,6523
16/01/2002 3:00	-15,9	13,65544	12,965236
16/01/2002 4:00	-16,45	12,37393	11,965236
16/01/2002 5:00	-17,05	11,48093	10,9652
16/01/2002 6:00	-16,6	11,23166	10,6523
16/01/2002 7:00	-15,8	17,26117	16,52214
16/01/2002 8:00	-15,15	19,61271	18,9658
16/01/2002 9:00	-13,425	20,47504	20,1281

16/01/2002 10:00	-11,325	19,99722	20,36982
16/01/2002 11:00	-9,375	20,27608	21,07671
12:00	-8,525	20,34236	21,28327
16/01/2002 13:00	-8,175	22,86333	24,07862
16/01/2002 14:00	-7,875	22,86739	24,2871
16/01/2002 15:00	-9,225	21,4766	22,55293
16/01/2002 16:00	-11,275	18,17488	18,46237
16/01/2002 17:00	-13,375	17,23846	16,8074
16/01/2002 18:00	-14,5	16,41692	15,58113
16/01/2002 19:00	-15,45	18,30978	18,32193
16/01/2002 20:00	-16,45	18,42035	18,77667
16/01/2002 21:00	-15,2	18,64359	18,50261
16/01/2002 22:00	-13,35	19,52397	18,7042
16/01/2002 23:00	-11,55	18,75997	17,82845
Día 7	-11,025	17,89044	16,9658
17/01/2002 1:00	-11	17,37979	16,52325
17/01/2002 2:00	-11,075	16,14946	15,6532
17/01/2002 3:00	-10,875	14,64686	13,9652
17/01/2002 4:00	-10,725	13,41562	12,6521
17/01/2002 5:00	-10,625	12,73765	11,96325
17/01/2002 6:00	-10,225	12,52389	11,6325
17/01/2002 7:00	-9,8	17,75175	16,3256
17/01/2002 8:00	-9,475	18,89612	17,96589
17/01/2002 9:00	-8,65	18,97834	18,0256
17/01/2002 10:00	-7,725	18,25553	17,3256
17/01/2002 11:00	-6,9	18,7455	18,5235
12:00	-5,95	18,90815	18,6852
17/01/2002 13:00	-4,95	21,90512	21,27742
17/01/2002 14:00	-4,1	22,17841	21,76134
17/01/2002 15:00	-4,275	21,14795	20,72536
17/01/2002 16:00	-4,775	18,15207	18,23904
17/01/2002 17:00	-5,425	17,50003	16,42132
17/01/2002 18:00	-5,675	16,87699	15,72261
17/01/2002 19:00	-5,775	18,73787	18,52414
17/01/2002 20:00	-6,025	18,97444	19,01157
17/01/2002 21:00	-5,875	19,1036	19,49965
17/01/2002 22:00	-5,725	20,10903	19,89618
17/01/2002 23:00	-5,625	18,99087	18,64915

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES VERANO (SALON)
INFLUENCIA INERCIA TERMICA

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Operativa 0 (° C)	T. Op. Madera (° C)	T. Op. Ladrillo (° C)
Día 1	21,65	23,9815	24,24215	24,50903
03/07/2002 1:00	22,175	23,98276	24,12888	24,5538
03/07/2002 2:00	21,8	23,90837	23,93719	24,28225
03/07/2002 3:00	21,25	23,8113	23,9752	24,1885
03/07/2002 4:00	20,725	23,79881	23,87018	24,11469
03/07/2002 5:00	20,15	23,55947	23,58018	24,05515
03/07/2002 6:00	19,7	23,47467	23,61168	23,77926
03/07/2002 7:00	19,375	23,58245	23,695	23,93614
03/07/2002 8:00	19	23,69254	24,01634	24,02198
03/07/2002 9:00	20,55	24,18125	24,81652	24,66407
03/07/2002 10:00	22,825	25,73142	26,88289	26,60158
03/07/2002 11:00	25,05	26,78323	28,32014	27,11101
12:00	26,275	27,48282	29,24275	27,36912
03/07/2002 13:00	27,175	27,8977	30,02218	27,51357
03/07/2002 14:00	28,075	28,15382	30,46662	27,58271
03/07/2002 15:00	28,45	28,38284	30,05148	27,89354
03/07/2002 16:00	28,65	28,65835	30,37228	28,32381
03/07/2002 17:00	28,85	28,9807	30,47884	28,45854
03/07/2002 18:00	27,775	28,3382	29,51893	27,7666
03/07/2002 19:00	26,275	27,37622	28,27555	26,90376
03/07/2002 20:00	24,775	26,22296	26,81026	25,90744
03/07/2002 21:00	23,125	25,3768	25,92047	25,38326
03/07/2002 22:00	21,5	24,75432	25,28666	24,95372
03/07/2002 23:00	19,825	24,00223	24,29435	24,32582
Día 2	19,7	23,88165	24,03446	24,20467
04/07/2002 1:00	20,1	23,82336	24,0015	24,06247
04/07/2002 2:00	20,5	23,70046	23,73246	24,04951
04/07/2002 3:00	20,45	23,56403	23,48796	23,89844
04/07/2002 4:00	20,25	23,43915	23,3745	24,1895
04/07/2002 5:00	20,05	23,34086	23,47871	24,1486
04/07/2002 6:00	21,125	23,95919	24,09796	24,45049
04/07/2002 7:00	22,55	24,65571	25,24069	25,27074
04/07/2002 8:00	24,025	25,63836	26,78922	26,24064
04/07/2002 9:00	25,075	26,38194	27,72949	26,7676
04/07/2002 10:00	26,05	27,57038	29,21434	27,55621
04/07/2002 11:00	26,975	28,33273	30,40513	28,07099
12:00	27,65	28,66503	30,93496	28,18136
04/07/2002 13:00	28,175	28,83911	31,23691	28,19149

04/07/2002 14:00	28,75	28,87398	31,36116	28,13418
04/07/2002 15:00	28,375	28,67228	30,26948	28,20731
04/07/2002 16:00	27,6	28,3643	29,85127	27,99875
04/07/2002 17:00	26,875	28,09391	29,40433	27,70025
04/07/2002 18:00	24,75	26,8986	27,92995	26,50555
04/07/2002 19:00	22,15	25,64721	26,28933	25,37349
04/07/2002 20:00	19,55	24,88505	25,4867	24,86587
04/07/2002 21:00	17,925	24,11339	24,68698	24,47039
04/07/2002 22:00	16,625	23,63039	23,98392	23,95417
04/07/2002 23:00	15,325	23,3674	23,49199	24,2469
Día 3	14,475	23,00037	22,99478	23,91157
05/07/2002 1:00	13,7	22,56693	22,57798	23,6644
05/07/2002 2:00	12,975	22,30504	22,01426	23,38965
05/07/2002 3:00	13,625	22,43954	21,58671	23,33561
05/07/2002 4:00	14,725	22,22165	21,62164	23,54306
05/07/2002 5:00	15,825	22,79973	23,00675	24,21163
05/07/2002 6:00	18,05	24,01171	24,75048	24,86441
05/07/2002 7:00	20,65	25,06968	26,73977	26,23318
05/07/2002 8:00	23,25	25,87745	27,6673	26,7326
05/07/2002 9:00	24,575	26,48299	28,22006	26,99903
05/07/2002 10:00	25,55	27,65082	29,73574	27,76808
05/07/2002 11:00	26,475	28,58616	31,02741	28,34099
12:00	27	29,03268	31,60428	28,46412
05/07/2002 13:00	27,325	29,21745	31,94474	28,46541
05/07/2002 14:00	27,7	29,2516	32,07338	28,37529
05/07/2002 15:00	27,5	28,59509	30,36249	28,05464
05/07/2002 16:00	27,175	28,45227	30,12817	28,00137
05/07/2002 17:00	26,8	28,36591	29,82757	27,83942
05/07/2002 18:00	25,05	27,37128	28,50282	26,8204
05/07/2002 19:00	22,775	26,02269	26,75	25,73574
05/07/2002 20:00	20,55	25,16221	25,67828	25,16108
05/07/2002 21:00	19,55	24,44967	24,9924	24,80127
05/07/2002 22:00	19,025	24,01914	24,52588	24,46671
05/07/2002 23:00	18,45	23,80629	23,82088	24,34853
Día 4	18	23,44419	23,40953	24,38409
06/07/2002 1:00	17,675	23,11079	23,1237	24,18965
06/07/2002 2:00	17,3	22,93807	22,93258	23,98169
06/07/2002 3:00	18,025	22,81161	22,78976	23,93746
06/07/2002 4:00	19,2	23,01191	23,1098	24,14751
06/07/2002 5:00	20,325	23,81819	24,09959	24,50457
06/07/2002 6:00	21,95	24,51917	25,31482	25,24776
06/07/2002 7:00	23,825	25,56858	26,9691	26,36349
06/07/2002 8:00	25,65	26,93052	28,76763	27,64867
06/07/2002 9:00	27,075	27,78181	29,58974	28,27693
06/07/2002 10:00	28,375	28,25207	29,97311	28,52126
06/07/2002 11:00	29,675	28,99218	30,72325	28,96

12:00	29,7	29,30699	30,98217	29,14294
06/07/2002 13:00	29,375	29,21716	30,73191	28,99335
06/07/2002 14:00	29	29,02107	30,4028	28,8874
06/07/2002 15:00	29,05	29,0571	30,40377	28,97485
06/07/2002 16:00	29,175	29,11419	30,47259	29,03952
06/07/2002 17:00	29,35	29,29916	30,44489	29,08395
06/07/2002 18:00	28,05	28,62899	29,59279	28,32191
06/07/2002 19:00	26,175	27,51147	28,25185	27,24024
06/07/2002 20:00	24,35	26,46022	27,04056	26,31487
06/07/2002 21:00	23,9	25,80187	26,33615	25,93917
06/07/2002 22:00	23,9	25,45153	25,88159	25,73452
06/07/2002 23:00	23,9	24,97537	25,19311	25,32383
Día 5	23,225	24,60244	24,74081	25,05119
07/07/2002 1:00	22,25	24,19328	24,21595	24,75391
07/07/2002 2:00	21,325	23,99522	23,98243	24,45077
07/07/2002 3:00	21,25	23,84994	23,80115	24,33315
07/07/2002 4:00	21,45	23,92229	23,97512	24,51705
07/07/2002 5:00	21,65	24,37938	24,84237	25,00658
07/07/2002 6:00	23,35	25,45429	26,46465	26,11446
07/07/2002 7:00	25,55	26,91907	28,58339	27,7003
07/07/2002 8:00	27,75	28,33684	30,39993	29,10749
07/07/2002 9:00	29,275	29,20623	31,36291	29,80254
07/07/2002 10:00	30,575	29,78137	31,8746	29,99883
07/07/2002 11:00	31,875	30,46155	32,73388	30,29704
12:00	32,5	31,28409	33,17579	30,35697
07/07/2002 13:00	32,825	31,01881	33,48931	30,43453
07/07/2002 14:00	33,2	31,14246	33,72095	30,46126
07/07/2002 15:00	32,775	31,77071	33,62174	30,58546
07/07/2002 16:00	32	31,15994	33,1686	30,61123
07/07/2002 17:00	31,275	31,08149	32,63676	30,57711
07/07/2002 18:00	29,825	30,22849	31,45516	29,75054
07/07/2002 19:00	28,2	29,15492	30,10678	28,79047
07/07/2002 20:00	26,525	28,11471	28,88168	27,93006
07/07/2002 21:00	25,8	27,32342	28,00836	27,42682
07/07/2002 22:00	25,475	26,81418	27,35887	27,06204
07/07/2002 23:00	25,1	26,15545	26,45091	26,47081
Día 6	24,7	25,69477	25,8643	26,09361
08/07/2002 1:00	24,375	25,31965	25,41147	25,77883
08/07/2002 2:00	24	24,96705	24,99393	25,46366
08/07/2002 3:00	24,05	24,81093	24,80788	25,348
08/07/2002 4:00	24,175	24,79082	24,80219	25,35758
08/07/2002 5:00	24,35	25,14663	25,24015	25,66603
08/07/2002 6:00	25,375	26,38862	26,99283	26,96927
08/07/2002 7:00	26,675	27,60079	28,80434	28,28415
08/07/2002 8:00	27,975	28,53866	30,11054	29,18541
08/07/2002 9:00	29,275	29,30717	31,07291	29,83594

08/07/2002 10:00	30,575	29,94848	32,11122	30,13139
08/07/2002 11:00	31,875	30,62016	33,12855	30,43081
12:00	32,725	31,10522	33,87418	30,59481
08/07/2002 13:00	33,5	31,41494	34,31919	30,68587
08/07/2002 14:00	34,225	31,60697	34,70391	30,68893
08/07/2002 15:00	33,875	31,94619	34,87402	30,89666
08/07/2002 16:00	33,1	32,24398	34,84223	31,27865
08/07/2002 17:00	32,375	32,36885	34,50421	31,57939
08/07/2002 18:00	30,7	31,5108	33,17767	30,75364
08/07/2002 19:00	28,625	30,12558	31,39671	29,55136
08/07/2002 20:00	26,6	28,80085	29,74121	28,4869
08/07/2002 21:00	24,975	27,51192	28,33764	27,59134
08/07/2002 22:00	23,55	26,35834	26,87465	26,59958
08/07/2002 23:00	22,075	25,42166	25,64027	25,86648
Día 7	21,55	24,98136	24,92846	25,52947
09/07/2002 1:00	21,35	24,65714	24,58202	25,33051
09/07/2002 2:00	21,15	24,39797	24,32804	25,1901
09/07/2002 3:00	20,95	24,33795	24,20573	24,96661
09/07/2002 4:00	20,825	24,00713	24,03487	24,69335
09/07/2002 5:00	20,65	24,18831	24,23204	24,96209
09/07/2002 6:00	22,4	25,21034	25,64943	25,94934
09/07/2002 7:00	24,8	26,53389	27,56396	27,40499
09/07/2002 8:00	27,2	28,16571	29,76308	29,02014
09/07/2002 9:00	25,175	27,12613	28,37171	27,48378
09/07/2002 10:00	21,6	27,09675	28,40509	27,58599
09/07/2002 11:00	18,075	26,06218	27,01735	26,57857
12:00	18,475	25,67408	26,37107	26,5317
09/07/2002 13:00	20,1	25,90596	26,7346	27,06497
09/07/2002 14:00	21,775	26,13748	27,04173	27,3522
09/07/2002 15:00	22,05	25,05305	25,58496	25,56569
09/07/2002 16:00	21,925	24,89983	25,53208	25,44287
09/07/2002 17:00	21,75	24,93373	25,3217	25,39213
09/07/2002 18:00	21,1	24,73916	25,15011	25,1787
09/07/2002 19:00	20,375	24,50967	24,64243	24,89235
09/07/2002 20:00	19,6	24,27058	24,41486	24,61014
09/07/2002 21:00	19,4	24,0139	24,25732	24,46496
09/07/2002 22:00	19,4	23,78488	23,97878	24,3409
09/07/2002 23:00	19,4	23,56927	23,75654	23,90224

TABLA DE RESULTADOS
SIMULACIONES INVIERNO (SALON)
INFLUENCIA INERCIA TERMICA

Fecha	T. Ext. BS (° C)	T. Operativa 0 (° C)	T. Op. Madera (° C)	T. Op. Ladrillo (° C)
Día 1	-10,6	20,0841	20,06661	20,36138
11/01/2002 1:00	-11,575	19,77386	19,67871	20,03899
11/01/2002 2:00	-12,95	18,37184	17,81074	18,72797
11/01/2002 3:00	-13,375	16,03763	14,85195	16,62716
11/01/2002 4:00	-13,55	14,11349	12,38241	15,02063
11/01/2002 5:00	-13,825	13,03079	10,67689	13,95073
11/01/2002 6:00	-13,3	12,38542	9,680734	13,49053
11/01/2002 7:00	-12,5	18,30214	18,67677	19,39195
11/01/2002 8:00	-11,85	19,19827	18,29448	19,19919
11/01/2002 9:00	-9,375	20,24805	20,10831	20,61305
11/01/2002 10:00	-6,425	20,67144	20,64036	20,98247
11/01/2002 11:00	-3,525	21,27222	21,64911	21,36106
12:00	-2,275	20,90263	21,33818	20,81104
11/01/2002 13:00	-1,725	25,43012	26,80762	24,84875
11/01/2002 14:00	-1,225	25,68825	27,55516	24,80732
11/01/2002 15:00	-1,325	24,08613	25,91997	23,10441
11/01/2002 16:00	-1,625	19,87503	20,86697	19,54078
11/01/2002 17:00	-2,075	18,87007	19,46193	18,65777
11/01/2002 18:00	-3,1	17,72582	17,89115	17,6679
11/01/2002 19:00	-4,375	19,59216	20,55292	19,79286
11/01/2002 20:00	-5,75	19,70482	21,01649	19,72203
11/01/2002 21:00	-7,15	20,17858	19,44495	19,6632
11/01/2002 22:00	-8,625	20,56226	20,62061	21,47968
11/01/2002 23:00	-10,2	20,61923	20,66909	20,82604
Día 2	-10,825	19,80799	19,95104	20,17258
12/01/2002 1:00	-11,125	19,42014	19,43515	19,78674
12/01/2002 2:00	-11,575	18,09939	17,61231	18,5659
12/01/2002 3:00	-12,3	15,83635	14,7108	16,52204
12/01/2002 4:00	-13,175	13,92351	12,22483	14,90386
12/01/2002 5:00	-14,15	12,83365	10,50164	13,81446
12/01/2002 6:00	-14,475	12,0807	9,357503	13,21871
12/01/2002 7:00	-14,65	12,22222	9,530334	13,50475
12/01/2002 8:00	-14,925	13,61741	11,52725	14,73297
12/01/2002 9:00	-13,65	14,20142	12,47558	15,25518
12/01/2002 10:00	-12	19,69978	19,12947	18,70738
12/01/2002 11:00	-10,4	18,96716	20,07706	18,29211
12:00	-9,4	19,10944	20,93663	18,60721
12/01/2002 13:00	-8,6	20,54255	20,47713	20,96533

12/01/2002 14:00	-7,95	20,42987	19,72926	21,66899
12/01/2002 15:00	-7,875	21,21797	21,84372	20,96426
12/01/2002 16:00	-7,975	20,67186	21,28254	20,16178
12/01/2002 17:00	-8,225	19,2676	19,67869	18,89442
12/01/2002 18:00	-9,05	17,51201	17,56643	17,22213
12/01/2002 19:00	-10,2	20,05173	20,49164	19,8939
12/01/2002 20:00	-11,4	20,48737	19,1054	20,26949
12/01/2002 21:00	-12	19,09008	20,60792	19,00564
12/01/2002 22:00	-12,55	19,34839	19,07455	19,25971
12/01/2002 23:00	-13,15	19,06464	18,83595	19,41402
Día 3	-14,5	18,18649	17,99728	18,6373
13/01/2002 1:00	-16,1	17,68742	17,30116	18,27151
13/01/2002 2:00	-17,85	16,19366	15,23381	16,94265
13/01/2002 3:00	-18,825	13,74056	12,08392	14,76792
13/01/2002 4:00	-19,525	11,86363	9,342547	12,91268
13/01/2002 5:00	-20,375	10,34813	7,375847	11,87084
13/01/2002 6:00	-20,225	9,457955	6,119917	11,20753
13/01/2002 7:00	-19,8	9,634973	6,204425	11,41258
13/01/2002 8:00	-19,475	10,88195	7,951918	12,57698
13/01/2002 9:00	-18,35	11,52091	9,104	13,10491
13/01/2002 10:00	-17,1	19,24651	18,72119	20,17792
13/01/2002 11:00	-15,9	20,64633	20,94737	20,98038
12:00	-14,925	21,40868	22,3173	21,49323
13/01/2002 13:00	-14,175	21,9194	18,12222	21,78819
13/01/2002 14:00	-13,475	20,71967	20,07334	20,44732
13/01/2002 15:00	-14,35	19,47891	19,41448	19,26138
13/01/2002 16:00	-15,825	18,31717	18,32139	18,20113
13/01/2002 17:00	-17,4	16,75547	16,20317	16,64747
13/01/2002 18:00	-18,1	14,90145	13,78608	15,2311
13/01/2002 19:00	-18,65	19,86141	19,69993	20,20126
13/01/2002 20:00	-19,25	20,86162	21,09761	20,97797
13/01/2002 21:00	-20,15	21,37886	21,86579	21,40068
13/01/2002 22:00	-21,3	21,41129	22,09383	21,43873
13/01/2002 23:00	-22,5	17,62047	17,65832	17,84437
Día 4	-23,025	15,90357	15,34065	16,48808
14/01/2002 1:00	-23,325	15,18283	14,29148	16,0381
14/01/2002 2:00	-23,775	13,72278	12,19131	14,7493
14/01/2002 3:00	-23,825	11,47959	9,251138	12,71521
14/01/2002 4:00	-23,8	9,697424	6,954925	11,13885
14/01/2002 5:00	-23,875	8,464312	5,109282	10,05386
14/01/2002 6:00	-23,525	7,724453	4,094777	9,417243
14/01/2002 7:00	-23,175	16,13179	14,18774	17,43154
14/01/2002 8:00	-22,875	18,99757	18,30891	19,59619
14/01/2002 9:00	-21,225	20,15162	20,29905	20,32817
14/01/2002 10:00	-19,125	19,09333	19,55984	19,09247
14/01/2002 11:00	-17,175	19,27183	19,89039	19,11007

12:00	-16,175	18,83095	19,50213	18,49373
14/01/2002 13:00	-15,625	22,4597	23,71596	21,67773
14/01/2002 14:00	-15,125	22,32356	23,83227	21,31475
14/01/2002 15:00	-15,075	20,40014	21,65452	19,48752
14/01/2002 16:00	-15,25	17,23526	17,80782	16,89422
14/01/2002 17:00	-15,525	14,85011	14,44024	14,98575
14/01/2002 18:00	-15,525	13,70595	12,68926	13,89458
14/01/2002 19:00	-15,5	20,52342	19,10646	20,40277
14/01/2002 20:00	-15,575	20,30777	19,45669	21,51704
14/01/2002 21:00	-15,825	18,89136	19,32817	16,54953
14/01/2002 22:00	-16,125	19,6936	20,33042	19,82763
14/01/2002 23:00	-16,575	18,24581	18,97239	18,42181
Día 5	-16,025	17,21496	17,63254	17,39022
15/01/2002 1:00	-15,275	16,80898	17,0623	17,04026
15/01/2002 2:00	-14,575	15,64077	15,49914	16,02338
15/01/2002 3:00	-14,325	13,51807	12,55684	13,99332
15/01/2002 4:00	-14,3	11,58675	9,880433	12,24196
15/01/2002 5:00	-14,375	9,850613	7,500873	10,65539
15/01/2002 6:00	-14,025	9,123538	6,472438	9,991742
15/01/2002 7:00	-13,675	17,74833	16,74619	18,14692
15/01/2002 8:00	-13,375	19,88556	20,02736	19,83841
15/01/2002 9:00	-11,95	19,9408	20,37692	19,70497
15/01/2002 10:00	-10,3	18,59468	19,20042	18,34168
15/01/2002 11:00	-8,7	19,4467	20,1514	19,01063
12:00	-8,375	19,03067	20,03874	18,64826
15/01/2002 13:00	-8,55	23,07587	24,60538	21,89989
15/01/2002 14:00	-8,825	23,155	25,09392	21,64263
15/01/2002 15:00	-9,35	21,32964	23,1584	19,95659
15/01/2002 16:00	-10,1	17,37771	16,50925	16,54294
15/01/2002 17:00	-10,9	14,94554	14,92513	14,30791
15/01/2002 18:00	-10,875	13,61585	12,98355	13,42672
15/01/2002 19:00	-10,725	20,27035	20,61512	19,9538
15/01/2002 20:00	-10,625	21,46499	22,39339	20,94469
15/01/2002 21:00	-11,05	22,15394	19,02472	21,52197
15/01/2002 22:00	-11,8	20,31207	20,18114	19,90367
15/01/2002 23:00	-12,6	18,01161	18,27772	17,94308
Día 6	-13,4	16,80754	16,68133	16,92351
16/01/2002 1:00	-14,35	16,24206	15,82224	16,3859
16/01/2002 2:00	-15,35	14,86804	14,00678	15,26558
16/01/2002 3:00	-15,9	12,61706	10,99798	13,24396
16/01/2002 4:00	-16,45	10,80297	8,40895	11,64531
16/01/2002 5:00	-17,05	9,611169	6,711125	10,63365
16/01/2002 6:00	-16,6	8,93809	5,681221	10,10216
16/01/2002 7:00	-15,8	18,15035	16,85749	18,90272
16/01/2002 8:00	-15,15	21,43851	21,63961	21,42698
16/01/2002 9:00	-13,425	22,17608	19,31737	21,79957

16/01/2002 10:00	-11,325	20,81473	21,25304	20,32954
16/01/2002 11:00	-9,375	20,87761	21,81029	20,33791
12:00	-8,525	20,67119	21,66359	19,99073
16/01/2002 13:00	-8,175	24,82488	26,84953	23,70056
16/01/2002 14:00	-7,875	25,23704	27,78987	23,65545
16/01/2002 15:00	-9,225	23,40504	25,85171	21,74555
16/01/2002 16:00	-11,275	18,66006	19,95681	18,77127
16/01/2002 17:00	-13,375	17,30062	18,08996	16,76344
16/01/2002 18:00	-14,5	15,81425	15,53629	15,44712
16/01/2002 19:00	-15,45	19,11165	19,90066	19,05599
16/01/2002 20:00	-16,45	19,35467	19,34238	18,02534
16/01/2002 21:00	-15,2	19,7998	20,1578	19,13026
16/01/2002 22:00	-13,35	21,1961	22,02845	20,65387
16/01/2002 23:00	-11,55	19,97004	20,58464	19,59424
Día 7	-11,025	18,81188	19,08385	18,60233
17/01/2002 1:00	-11	18,20161	18,3134	18,10873
17/01/2002 2:00	-11,075	16,46629	16,07886	16,53775
17/01/2002 3:00	-10,875	14,21443	13,14742	14,53755
17/01/2002 4:00	-10,725	12,40122	10,9683	13,1231
17/01/2002 5:00	-10,625	11,42243	9,240623	11,98346
17/01/2002 6:00	-10,225	10,78785	8,384027	11,45404
17/01/2002 7:00	-9,8	18,9276	18,16581	19,26421
17/01/2002 8:00	-9,475	20,82656	20,91841	20,74721
17/01/2002 9:00	-8,65	20,75415	21,10459	20,45236
17/01/2002 10:00	-7,725	19,40155	19,78405	19,3266
17/01/2002 11:00	-6,9	19,83433	20,27615	19,55732
12:00	-5,95	19,77128	20,16679	19,29879
17/01/2002 13:00	-4,95	24,23321	25,49319	23,39131
17/01/2002 14:00	-4,1	24,55421	26,27284	23,2749
17/01/2002 15:00	-4,275	22,94491	24,64437	21,58061
17/01/2002 16:00	-4,775	18,55373	19,49889	18,80793
17/01/2002 17:00	-5,425	17,5105	18,19815	16,9703
17/01/2002 18:00	-5,675	16,31209	16,24722	16,05266
17/01/2002 19:00	-5,775	19,21349	19,28735	19,03228
17/01/2002 20:00	-6,025	19,58438	19,65249	20,21865
17/01/2002 21:00	-5,875	19,76105	19,60873	19,62289
17/01/2002 22:00	-5,725	21,53003	22,05397	21,29892
17/01/2002 23:00	-5,625	19,68487	20,05634	19,43207