

LO MÍNIMO

Arquitectura autosuficiente

Universidad Politécnica De Madrid



Escuela Técnica Superior de Arquitectura



Trabajo Fin De Grado

Hirota Jorge Hase Garnica

Lo Mínimo

Arquitectura autosuficiente

A mi madre.

A mi familia de Téllez.

A mi novia.

LO MÍNIMO:

Arquitectura autosuficiente

Estudiante

Hiroataka Jorge Hase Garnica

Tutora

M^a Esther Moreno Fernández

Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas

Aula TFG 1

David Mencías Carrizosa (Coordinador)

M^a Esther Moreno Fernández (Adjunta)

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) explora los requerimientos mínimos que debe cumplir una vivienda para ser autosuficiente, entendida como modelo habitacional capaz de satisfacer las necesidades humanas sin depender de recursos externos. Para ello, se parte de una revisión bibliográfica realizando un análisis del trabajo realizado por diversos autores que han investigado sobre la autosuficiencia aplicada a distintos contextos, con el objeto de establecer una definición precisa y fundamentada de este concepto.

Posteriormente, se abordan las necesidades básicas mínimas del ser humano: el consumo mínimo de calorías y agua, los límites térmicos y los requisitos para alcanzar un confort esencial, basándose en datos objetivos, fuentes técnicas y normativas urbanísticas vigentes reduciendo, en lo posible, cualquier enfoque subjetivo.

El trabajo se centra en el contexto climático de Madrid (dentro del marco del clima mediterráneo) para lo cual se realiza un análisis apoyado en literatura especializada en arquitectura bioclimática.

Asimismo, se han investigado las diversas soluciones para optimización de producción de recursos clave como el agua, la electricidad y los alimentos. Además, se cuantifican los requerimientos mínimos para mantener la autosuficiencia habitacional. Estos datos se integran en la herramienta de cálculo Excel que permite dimensionar dichos recursos en función del número de personas que habitan en la vivienda.

Finalmente, el trabajo plantea una crítica al modelo de consumo contemporáneo, promoviendo una reflexión sobre lo que realmente es necesario para vivir en equilibrio con el entorno natural.

Palabras clave: autosuficiencia, vivienda, necesidades básicas, clima mediterráneo, recursos mínimos consumo responsable.

Abstract

This Final Degree Project explores the minimum requirements a dwelling must meet to be considered self-sufficient, understood as a housing model capable of satisfying human needs without relying on external resources. To this end, it begins with a literature review analyzing the work of various authors who have studied self-sufficiency in different contexts, with the aim of establishing a precise and well-founded definition of the concept.

Subsequently, the project addresses the basic minimum human needs: minimum caloric and water intake, thermal limits, and the requirements for achieving essential comfort, all based on objective data, technical sources, and current urban planning regulations, while minimizing any subjective perspective.

The study focuses on the climatic context of Madrid (within the framework of the Mediterranean climate), supported by specialized literature in bioclimatic architecture.

Additionally, different solutions for optimizing the production of key resources—such as water, electricity, and food—have been explored. The minimum requirements for maintaining habitational self-sufficiency are quantified, and this data is incorporated into an Excel-based calculation tool that allows for sizing of resources based on the number of occupants in the dwelling.

Finally, the project offers a critique of the contemporary consumption model, encouraging reflection on what is truly necessary to live in balance with the natural environment.

Keywords: self-sufficiency, housing, basic needs, Mediterranean climate, minimum resources, responsible consumption.

Índice - LO MÍNIMO

0. Resumen/Abstract

1. Introducción

1.1. ¿Por qué Lo Mínimo?

1.2. Objetivos

1.3. Metodología

2. Definiendo lo mínimo para la supervivencia

2.1. Necesidades fisiológicas básicas del ser humano

- Requerimientos calóricos
- Consumo mínimo de agua
- Necesidades de oxígeno

2.2. Condiciones climáticas extremas y supervivencia

- Límites de temperatura para el cuerpo humano

2.3. Definición de confort

- El confort por Rafael Serra
- Parámetros ambientales
- Factores de confort

3.4. Espacios mínimos habitables

- Mínimos según la Ley (PGOUM)
- El arte de proyectar por Neufert

3. Influencia del clima en las viviendas autosuficientes

3.1. El clima mediterráneo

- ¿Por qué el clima mediterráneo?
- Características del clima mediterráneo
- Wladimir Köppen (1846 - 1940)

4. Producción y gestión de recursos

4.1. Producción alimentaria autosuficiente

- Hidroponía y otras técnicas eficientes
- Cría animal

4.2. Generación de energía

- Fuentes renovables aplicadas a una vivienda mínima
- Consumo mínimo y almacenamiento energético

4.3. Gestión eficiente del agua

- Captación y reutilización
- Consumo mínimo y estrategias de optimización

5. Calculadora de "LO MÍNIMO"

6. Conclusiones y reflexiones

7. Bibliografía

01

Introducción

¿Por qué lo mínimo?

En pleno siglo XXI, resulta innegable que la sociedad se enfrenta a una época marcada por la creciente escasez de los recursos naturales, una crisis climática global y una profunda desigualdad en el acceso a la vivienda. Estos “desafíos” obligan a replantear los modelos tradicionales de habitabilidad, especialmente considerando que el sector de la construcción es uno de los que más impacto tiene desde el punto de vista ambiental. En este contexto, la arquitectura asume un papel fundamental en la construcción de un futuro más sostenible. Surge así una pregunta esencial: ¿Qué es lo mínimo necesario para vivir (dignamente)? Esta cuestión, lejos de ser algo puramente técnica, se vincula estrechamente con la arquitectura desde una perspectiva ética, ambiental, económica y cultural.

A lo largo de la historia, el ser humano ha demostrado una notable capacidad de adaptación, desarrollando formas de habitar profundamente arraigadas en su entorno, con los recursos disponibles, con sus cultura y tradiciones. Ejemplos de ello se encuentran en las viviendas trogloditas, las construcciones nómadas o la arquitectura vernácula todas ellas concebidas como respuesta directa a las condiciones específicas del medio. Sin embargo, esta lógica ha sido progresivamente sustituida por una arquitectura contemporánea que, en muchas ocasiones, se ha alejado del contexto local, priorizando el exceso formal, el espectáculo o la dependencia de sistemas tecnológicos complejos, a menudo insostenibles.

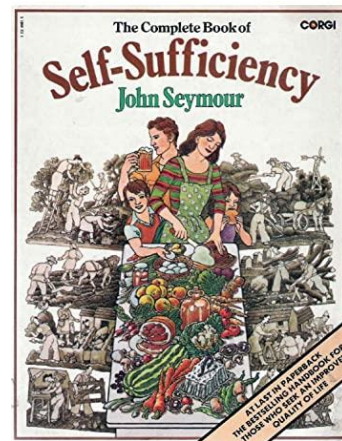
Frente a esta situación, el concepto de “Autosuficiencia” adquiere gran relevancia. Pero, ¿cuál es el significado de una vivienda autosuficiente? En términos generales, que algo sea autosuficiente (una vivienda en este caso) significa que tiene la capacidad de cubrir sus propias necesidades sin depender de infraestructuras externas. Esto incluiría la generación autónoma de energía, la captación y gestión del agua, el tratamiento de los residuos y, en algunos casos, la producción de alimentos. Desde la arquitectura, esta autosuficiencia se traduce en la reducción al mínimo de la dependencia de redes eléctricas, de agua o del transporte de los alimentos; promoviendo un modelo más sostenible para el medioambiente y adaptado al entorno.

Esta visión ha sido explorada por numerosos autores y profesionales de la arquitectura, quienes, desde diferentes enfoques y contextos, han coincidido en la necesidad de repensar la vivienda desde una perspectiva que contemple la autosuficiencia.

De la revisión bibliográfica se destacan los siguientes estudios:

► **John Seymour**, autor del libro *The Complete Book of Self-Sufficiency*¹, fue un firme defensor del retorno a una vida sencilla, tranquila, rural y autónoma. Su obra reúne conocimientos prácticos sobre agricultura, ganadería, energías renovables y técnicas tradicionales, todo ello enmarcado en una crítica profunda a la dependencia del sistema industrial. El libro promueve una filosofía de vida centrada en la autosuficiencia, el respeto por la naturaleza y la recuperación de conocimientos tradicionales. Seymour no solo enseñó cómo cultivar alimentos o generar energía de forma independiente, sino que también sentó las bases ideológicas de un movimiento que aboga por la simplicidad voluntaria, el empoderamiento comunitario y la reconstrucción de una economía más localizada y justa. En contextos urbanos y rurales por igual, su legado sigue presente en iniciativas de permacultura, ecoaldeas, proyectos de transición y viviendas autosuficientes.

Figura 1: Portada del libro
The Complete Book of Self-
Sufficiency



► **Hassan Fathy**, fue un arquitecto egipcio que expresó su visión en el libro *Arquitectura para los pobres*². En esta obra, defiende los beneficios de una arquitectura vernácula adaptada al clima, construida con materiales locales y pensada para las comunidades rurales con escasos recursos. Fathy entendía la autosuficiencia no solo como una técnica, sino como una forma de empoderamiento colectivo capaz de fortalecer la autonomía social, cultural y económica de las comunidades más vulnerables.



Figura 2: Portada del
libro Arquitectura para
los pobres

¹ John Seymour, *The Complete Book of Self-Sufficiency* (London: Dorling Kindersley, 1976).

² Fathy, Hassan. *Arquitectura para los pobres: un experimento en Egipto rural*. Madrid: Ediciones Asimétricas, 2021.

► **Michael Reynolds**, arquitecto estadounidense, es el creador de los *Earthship* (Naves Tierra). Su propuesta se basa en la construcción de viviendas mediante materiales reciclados, autosuficientes en energía, agua y alimentos. Su enfoque combina ecología radical con innovación constructiva, apostando por sistemas cerrados en los que los residuos se transforman en recursos.

Figura 3: Imagen de la primera escuela autosuficiente de argentina (Earthship de Michael Reynolds)



► **Sim Van der Ryn**, fue arquitecto estatal de California y uno de los pioneros en el diseño ecológico en Estados Unidos. Desde la década de 1970, trabajó intensamente en la integración de la ecología y la arquitectura, promoviendo una visión del entorno construido como parte de los sistemas naturales. En su libro *Ecological Design*³ explora cómo los edificios y ciudades pueden funcionar como ecosistemas, fomentando la autosuficiencia energética, hídrica y alimentaria a través de un diseño sensible al entorno. En esta obra, introduce el concepto de "diseño ecológico" y propone una serie de principios que permiten a los sistemas construidos alinearse con los ciclos naturales, logrando así su funcionamiento más autónomo y sostenible.

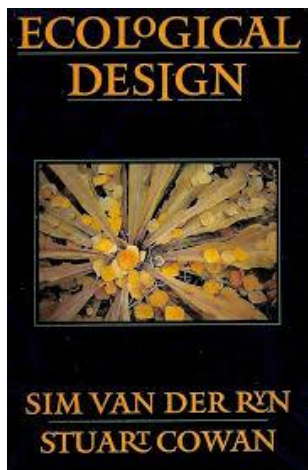
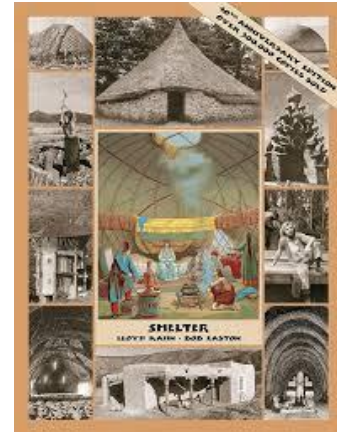


Figura 4: Portada del libro Ecological Design

³ Van der Ryn, Sim, and Stuart Cowan – Ecological Design (1995)

► **Lloyd Kahn**, fue editor y arquitecto autodidacta y se convirtió en una figura clave del movimiento “back to the land” en Estados Unidos durante la década de 1970, especialmente a través de su trabajo como editor en *Whole Earth Catalog*. Es autor del libro *Shelter*⁴, una obra de referencia que recopila métodos constructivos tradicionales y alternativos, presentando cientos de ejemplos de viviendas autoconstruidas en distintas partes del mundo. El libro incluye planos, fotografías e ilustraciones detalladas, y transmite una idea fundamental: la autosuficiencia constructiva es posible y deseable. No solo es un manual de técnicas sino plantea una postura ética frente al habitar y el consumo de recursos.

Figura 5: Portada del libro Shelter



► **Brenda Vale y Robert Vale**, son una pareja de arquitectos británicos pioneros en el diseño sostenible y quienes plasmaron sus experiencias en la creación de casas completamente autosuficientes en su libro *The Autonomous House*⁵. En esta obra, los autores analizan cómo una vivienda puede funcionar sin depender de servicios externos, abordando aspectos como la generación de energía, la recolección de agua de lluvia, tratamiento de aguas residuales, aislamiento térmico pasivo, entre otros. *The Autonomous House* fue uno de los primeros en presentar la vivienda autosuficiente como un modelo viable en países y ciudades desarrolladas. También muestra como el diseño de la arquitectura puede ayudar a reducir la huella ecológica sin renunciar al confort.

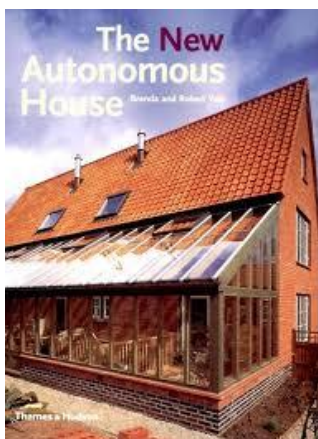


Figura 6: Imagen del libro The Autonomous House

⁴ Kahn, Loyd. *Shelter*. Chronicle Books, 1999.

⁵ Vale, Brenda, y Robert Vale. *The Autonomous House*. Thames & Hudson, 2000.

► **Bill Mollison**, biólogo australiano, es el creador del concepto de " Permacultura " junto con David Holmgren. En su libro *Permaculture: A Designer's Manual* ⁶, Mollison presenta de manera exhaustiva las bases teóricas y prácticas para el diseño de sistemas agrícolas sostenibles que imitan los procesos naturales. La obra abarca diversos temas, como la producción de alimentos, el manejo y control del agua, la generación de energía y la arquitectura, junto a otros temas. Este manual es especialmente relevante debido a que define un modelo de diseño para crear sistemas autosuficientes, sostenibles y resilientes. Aplicables no solo a viviendas sino también a comunidades o incluso regiones enteras).

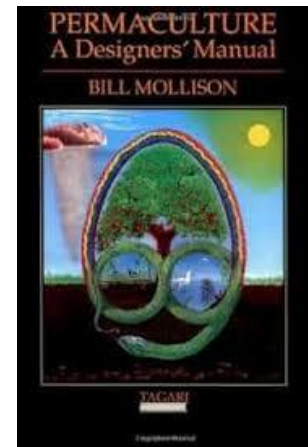


Figura 7: Portada del libro *Permaculture: A Designer's Manual*

► **David Holmgren**, discípulo de Bill Mollison y co-creador de la permacultura ofrece una perspectiva más madura y crítica del concepto " permacultura ". A diferencia de Mollison, su enfoque es más filosófico y estratégico. En su libro *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability* ⁷ Holmgren presenta los 12 principios de la permacultura. En este libro se puede observar cómo Holmgren intenta expandir la idea de autosuficiencia no solo como supervivencia, sino como una forma de vida integral y sostenible que promueve la regeneración ecológica a largo plazo.

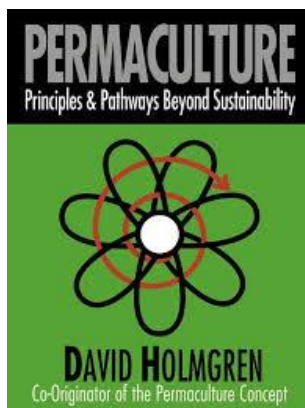


Figura 8: Portada del libro *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*

⁶ Mollison, Bill. *Permaculture: A Designer's Manual*. Tagari Publications, 1988.

⁷ Holmgren, David. *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*. Melliodora Publishing, 2002.

A pesar de las diferencias culturales y temporales de los autores mencionados, todos coinciden en un punto esencial: la vivienda no debe ser una carga para el entorno, sino una extensión que esté en armonía con él. Todos proponen un modelo en el que el habitante retoma el control de su entorno vital, alejándose de la dependencia de sistemas centralizados complejos que suelen ser, además, costosos.

Este trabajo parte de esa inquietud, pero con una intención de abordarla desde un enfoque propio. Más allá de recopilar información, ejemplos o teorías existentes, este TFG busca analizar los elementos mínimos que son necesarios no solo para la supervivencia sino también para garantizar, en la medida de lo posible el confort y el bienestar de las personas.

Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es identificar y definir de manera clara y comprensible los requisitos fundamentales que debe cumplir una vivienda para ser habitable, eficiente y, esencialmente, autosuficiente.

Además, se plantean, los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar una "guía" práctica que, de forma sencilla, sirva como punto de partida para el diseño de viviendas capaces de ofrecer una buena calidad de vida, adaptadas al contexto climático específico, en este caso, el clima mediterráneo).
- Definir los parámetros esenciales que determinan la habitabilidad mínima incluyendo necesidades calóricas, temperaturas adecuadas, requerimientos hídricos, espacio vital, entre otros.
- Diseñar una herramienta basada en los resultados derivados del estudio teórico, que permita estimar de forma personalizada, los requerimientos mínimos de una vivienda autosuficiente, considerando tanto el número de habitantes como las condiciones particulares del entorno.

Metodología

El proceso metodológico de investigación que se ha empleado para este Trabajo de Fin de Grado, se ha organizado en las siguientes etapas:

- ▶ **Determinación de las necesidades mínimas para la supervivencia humana.** Se realiza una recopilación y análisis de las fuentes bibliográficas que establecen los requerimientos fisiológicos básicos. Esta revisión permite establecer un punto de partida conceptual para establecer los principios fundamentales de la habitabilidad autosuficiente.
- ▶ **Definición de los parámetros fundamentales del confort habitacional.** A partir de la normativa vigente y de la literatura especializada en habitabilidad, se identifican los valores de referencia que garantizan un nivel de confort en una vivienda (temperatura, ventilación, iluminación natural...).
- ▶ **Análisis de la relación entre clima y diseño arquitectónico de vivienda mínima.** Se estudia el clima mediterráneo con especial atención al caso de Madrid y se obtienen datos climáticos con el enfoque de arquitectura bioclimática. Esta fase permite entender cómo las condiciones climáticas influyen en el diseño de viviendas eficientes y adaptadas al entorno.
- ▶ **Explorar estrategias arquitectónicas para la autosuficiencia.** Se investigan soluciones arquitectónicas y tecnológicas que contribuyen a la autosuficiencia, tales como sistemas pasivos de climatización, captación y reutilización de agua, producción energética y cultivo de alimentos.
- ▶ **Desarrollo de una herramienta práctica en formato digital.** Se diseña una hoja de cálculo que integra los datos obtenidos y permite calcular de forma personalizada los recursos mínimos necesarios en función del número de habitantes y las condiciones del lugar. Esta herramienta pretende ser una guía útil para futuros diseños de viviendas autosuficientes (Figura 9).

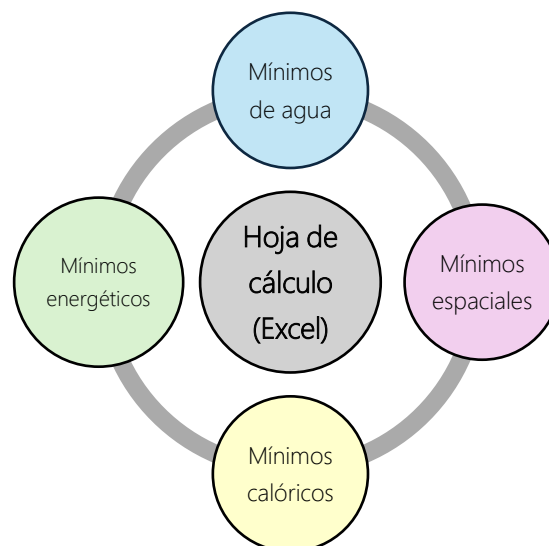


Figura 9: Ilustración explicativa de lo que engloba el Excel (Elaboración propia)

02

Definiendo lo
mínimo para la
supervivencia

Necesidades fisiológicas básicas del ser humano

Para garantizar la supervivencia, el ser humano tiene que cubrir unas necesidades fisiológicas que no pueden ser omitidas: hidratación y alimentación. Estos dos elementos (el agua y la comida) son clave para que un cuerpo pueda mantener sus funciones vitales en casi cualquier circunstancia (ya que por mucha agua y comida que se tenga existen entornos extremos).

Además, es incuestionable que el oxígeno es imprescindible para sobrevivir, pero este factor no se tendrá en cuenta en este trabajo ya que el aire está presente de forma natural en la atmósfera y, salvo en contextos muy específicos y extremos, la disponibilidad del oxígeno no representa ningún problema para la mayoría de la población mundial. Por esta misma razón, este capítulo se centrará solamente en el cálculo de los requerimientos mínimos de energía (kcal) y agua (litros) como punto de partida para establecer qué necesita una persona para sobrevivir.

Para calcular las calorías mínimas necesarias de las personas se ha considerado la fórmula matemática Harris-Benedict, 1990⁸ una fórmula reconocida mundialmente para calcular la Tasa de Metabolismo Basal (TMB). La TMB es la cantidad de energía que necesita un cuerpo humano para poder sobrevivir en reposo, es decir, sin realizar ningún tipo de actividad física, solo para cumplir las funciones básicas del cuerpo, por ejemplo, bombear sangre, digerir alimentos y respirar (o incluso para leer este TFG).

La fórmula tiene dos variantes dependiendo del sexo, ya que para calcular la TMB de un hombre se requiere multiplicar por diez el peso (en Kg), sumándole la altura (en cm) multiplicada por 6.25, restándole la edad (años) multiplicada por cinco y finalmente sumándole a todo el conjunto cinco; y en la fórmula para las mujeres sería exactamente igual, excepto que se le resta 161 en vez de sumarle cinco.

La ecuación se vería algo tal que así:

Hombres:

$$\text{TMB} = (10 \times \text{peso en kg}) + (6.25 \times \text{altura en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) + 5$$

Mujeres:

$$\text{TMB} = (10 \times \text{peso en kg}) + (6.25 \times \text{altura en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) - 161$$

⁸ 1990. «A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals.» The American Journal of Clinical Nutrition 139-319.

No obstante, para poder utilizar esta fórmula se ha requerido obtener el peso, la altura y la edad media de la población mundial y así poder estimar las calorías mínimas requeridas de una persona promedio. Para ello, se ha consultado la web Datos Mundial⁹ donde se ha recopilado toda la información de estos parámetros para, mediante la media aritmética poder completar la fórmula. Con esto, se ha descubierto que el **requerimiento calórico diario** en reposo es de unas **1310,7 kilocalorías para hombres**, con un peso promedio de 87,38 kilogramos, y de **1099,1 kilocalorías para mujeres**, empleando un peso promedio de 73,27 kilogramos. Estos valores permiten establecer una estimación del umbral mínimo de energía necesario de una persona para mantener las funciones vitales en reposo (sin actividad física ni esfuerzos significativos).

En cuanto el agua su presencia en la vida humana es fundamental. No solo constituye una parte esencial de todas las células del cuerpo, sino que también interviene directamente en procesos fundamentales como; regular la temperatura corporal, transportar los nutrientes a los órganos y la eliminación de toxinas y desechos.

El porcentaje de agua en el cuerpo humano varía mucho en función de factores como la edad, el peso, la altura y el sexo. En los recién nacidos, por ejemplo, el porcentaje de agua en el cuerpo puede llegar incluso al 80%; pero tiende a disminuir con la edad. Durante la infancia, el porcentaje suele situarse entre el 60% y 70%, mientras que en los adultos se sitúa generalmente entre el 50% y el 65%. También existen diferencias según el sexo biológico: en promedio, el cuerpo femenino contiene un mayor porcentaje de tejido graso, lo que reduce el porcentaje de agua corporal en comparación con el cuerpo masculino.

De acuerdo con estos datos y según las recomendaciones de diversos organismos, destacando la fundación Aquae¹⁰, se estima que **un hombre adulto** necesita consumir alrededor de **tres litros** de agua al día para mantener un estado saludable mientras que **una mujer adulta** necesita alrededor de **2.2 litros**. Estas cifras representan una referencia general, ya que las necesidades reales pueden variar según el clima, la actividad física, el estado de salud del individuo y otras consideraciones individuales. No obstante, constituyen una referencia generalizada clara sobre la cantidad de agua necesaria para preservar las funciones básicas del organismo.

⁹ 2025. *Datos Mundial*. Abril. <https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php#by-country> .

¹⁰ 2022. Fundación Aquae. 20 de Febrero. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/porcentaje-agua-cuerpo-humano>

Condiciones climáticas extremas y supervivencia

El cuerpo humano al igual que otras muchas especies animales, ha evolucionado. Tanto es esto, que ha desarrollado un sofisticado sistema de autorregulación térmico que le permite mantenerse de una forma constante entre los 36,5 a 37,5 grados Celsius¹¹. Este proceso se le conoce como termorregulación y es algo esencial para que los órganos vitales funcionen de manera correcta y los procesos metabólicos puedan producirse sin problemas. Sin embargo, cuando las condiciones climáticas superan los límites de adaptación empiezan a ocurrir problemas. En estos casos extremos, la supervivencia dependerá de cuánto tiempo se disponga para resistir esas condiciones y de qué recursos se disponen a mano para poder retomar el equilibrio de ese desajuste térmico.

La piel, los vasos sanguíneos y las glándulas sudoríparas son los pilares estrella (anatómicamente hablando) de esta lucha por mantener la homeostasis térmica. A través de estos pilares, el cuerpo humano puede elegir entre mantener el calor, expulsarlo o aumentarlo. Como todo relacionado con el cuerpo humano, cada persona tendrá una capacidad diferente para soportar temperaturas extremas; ya que también dependerá de la complexión de cada uno, del nivel de grasa corporal, la circulación de sangre e incluso de la posible experiencia en climas extremos. Pero a pesar de estas variaciones individuales, hay una manera de medir el umbral fisiológico de las personas y que nadie puede traspasar sin consecuencias (graves o leves).

Cuando la temperatura desciende más de los 35 grados, el cuerpo humano empieza un proceso llamado hipotermia. Al principio, el cuerpo responde de forma automática; contrayendo los vasos sanguíneos de las extremidades para conservar el calor en los órganos vitales (prioriza donde va la sangre). Entre los 32 y 35 grados es la fase más leve y normalmente viene acompañada de unos cuantos síntomas como los temblores muy intensos, la pérdida de coordinación, pérdida de movilidad e incluso confusión mental. Estos síntomas si no se revierten de inmediato y se prolonga en el tiempo, el descenso térmico continuará y el cuerpo entrará en una fase moderada. Entre los 28 y 32 grados el cuerpo comenzará a reducir el ritmo del metabolismo de forma potencialmente peligrosa, y el nivel de consciencia disminuirá progresivamente. Por debajo de los 28 grados, el cuerpo entra en un estado crítico. Las probabilidades de sufrir un paro cardíaco se dispararían y la posibilidad de una recuperación sin daños colaterales disminuirá significativamente. En ciertos casos puntuales y extremos, se puede llegar a ver a algunas personas que sobreviven gracias a un estado de

¹¹ 2025. Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_del_cuerpo_humano.

hibernación reducida; un estado del cuerpo donde reduce al mínimo sus funciones vitales para poder resistir durante un tiempo limitado las temperaturas extremadamente bajas.

En cuanto al lado extremo contrario, cuando la temperatura corporal traspasa el rango de los 37,5-38 grados, el cuerpo humano activa un sistema/mecanismo de enfriamiento; en otras palabras, se suda. La sudoración y la vasodilatación periférica permite liberar el calor y mantener un equilibrio interno. Pero este mecanismo, en ambientes donde el calor es constante y donde hay mucha humedad, deja de ser eficaz. Esto provoca la deshidratación de forma muy rápida y el cuerpo empezaría a fallar. Una fiebre demasiado prolongada, aunque sea una respuesta completamente normal del cuerpo, puede traer consigo problemas si no se controla; sobre todo si supera los 39 grados.

El verdadero problema se tendría si el cuerpo superase los 40 grados. A este fenómeno se le conoce coloquialmente como golpe de calor o hipertermia severa de manera más técnica. En este momento, el sistema de autorregulación colapsa y el cerebro en especial se vuelve más vulnerable. El aumento de la temperatura puede provocar edemas, causar daños en la comunicación entre las neuronas y en casos muy graves incluso la muerte. No es solo un problema físico, sino que también es neurológico, ya que el sistema nervioso central empieza a enviar señales confusas donde el cuerpo puede entrar en un estado de desorientación, alucinación o inconsciencia.

Si se reflexiona, sobrevivir a temperaturas extremas, es en el fondo, una carrera contra el tiempo. El cuerpo humano ha evolucionado hasta obtener mecanismos de defensa para resistir, pero todas tienen un límite. Estos límites van a servir de ayuda para la creación final del Excel. Ya que se deberá ser consciente de observar y tener en cuenta sistemas de climatización más inteligentes y eficientes. También esta información ayuda a definir qué es lo mínimo indispensable para que una vivienda (o incluso una vida) pueda mantenerse incluso en las condiciones más extremas.

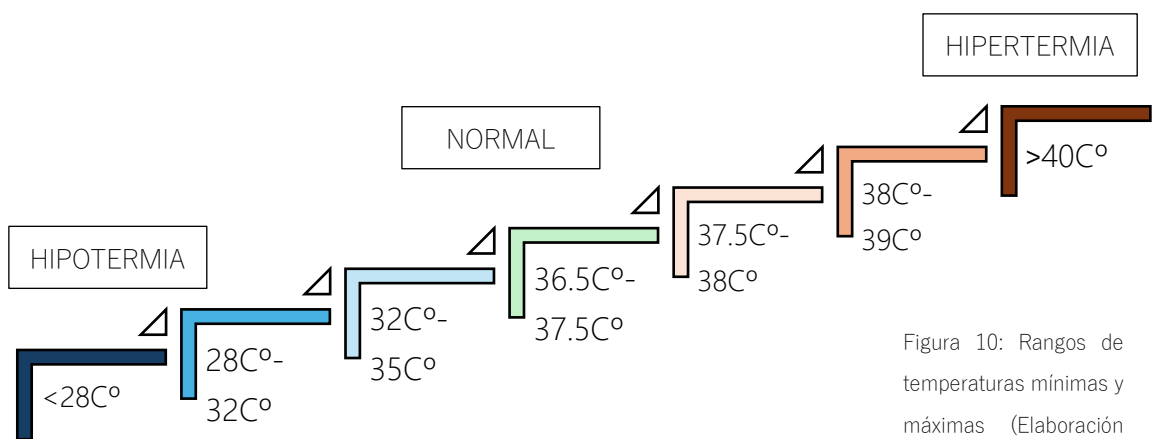


Figura 10: Rangos de temperaturas mínimas y máximas (Elaboración propia)

Definición de confort

Para poder comprender el concepto de “ confort ” en el ámbito de la arquitectura se tomará como referencia las aportaciones y conocimiento de Rafael Serra.

Rafael Serra¹² fue un arquitecto y urbanista catalán, nació en 1922 y dedicó gran parte de su vida a reflexionar cómo mejorar la calidad del entorno construido. Su enfoque combinaba una visión funcional con una visión humana profunda (en relación con el espacio arquitectónico). Serra no solo se conformó con diseñar edificios eficientes, sino que, a su vez, trataba de entender qué elementos contribuyen a que una vivienda o un espacio resulten agradables, acogedores y adecuados para vivir. Gran parte de este conocimiento está recogido en su obra *Arquitectura y climas*¹³; libro que construye la base principal para el análisis realizado en este apartado.

Según Rafael Serra, el confort no debe entenderse únicamente como una percepción subjetiva, sino como una condición compleja que surge de la interacción del entorno físico y la percepción individual. Lo define como un fenómeno relacional en el que intervienen tanto variables cuantificables —como la temperatura, la humedad o la iluminación— como factores personales vinculados a las necesidades y expectativas de cada individuo. Dicho de otra forma, el confort no es una “ meta ” estática ni una “ característica ” intrínseca del espacio, sino un fenómeno que ocurre cuando algo “ medible ” cómo las condiciones del entorno se interrelacionan con las necesidades y expectativas del ser humano (Serra, 1999).

Entre estos factores mencionados que componen este “ estado de equilibrio ” destacan algunos parámetros ambientales fundamentales. La temperatura del aire y de las superficies, por mencionar alguna, influye de forma directa con el equilibrio térmico del cuerpo. Esto se puede interpretar de que por ende también afecta a la sensación de bienestar. El sonido también, en sus infinitas formas, puede transmitir calma, paz o dolor de cabeza. Serra señala que un edificio con buena acústica no es solo aquel que aísla el ruido exterior, sino que también sea capaz de acompañar el ruido que se realicen dentro del espacio. La luz, tanto la natural del sol o la artificial, tiene un gran impacto en como se percibe el espacio. Todo esto se debe a que un tipo de luz u otra, altera la forma en la que se observan las cosas, haciendo que afecte incluso al estado de ánimo. A todos estos factores mencionados se les suma también la calidad del aire; cuya calidad, humedad y ventilación son la

¹² n.d. *Asociación Profesional de Diseñadores de Iluminación*. <https://a-pdi.org/rafael-serra-i-florensa-1941-2012/>.

¹³ Serra, Rafael. 1999. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gil. SA.

clave para que se pueda tener una salud óptima (tanto física como mental). Por último, para finalizar de nombrar a estos "factores" estaría la geometría del espacio; sus proporciones y dimensiones influyen en cómo la gente se siente dentro de él. Pero esto, como se decía, no es absoluto ya que un espacio grande, abierto y vacío puede transmitir libertad o desasosiego; mientras que un espacio más pequeño y lleno puede transmitir calidez o agobio.

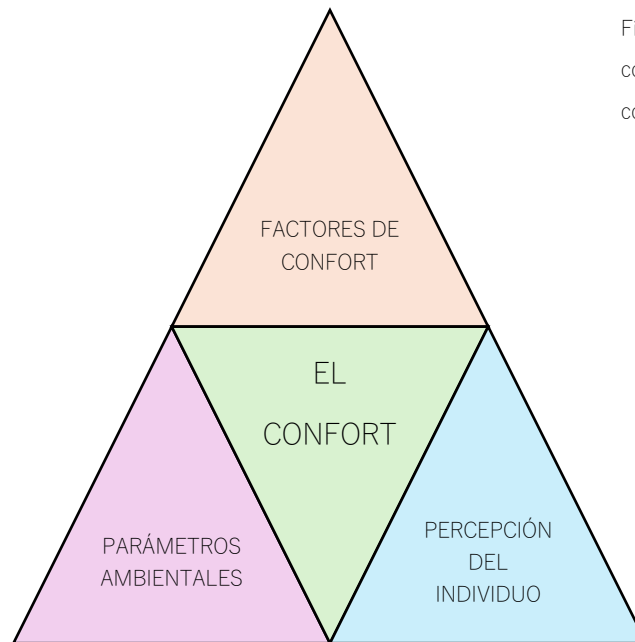


Figura 11: Relación de conceptos para lograr el confort (Elaboración propia)

Todos estos parámetros mencionados pueden medirse. Son, sencillamente hablando, las herramientas que tiene el arquitecto en sus manos para construir un entorno que favorezca a la vida. Pero incluso cuando todas estas variables están dentro de lo considerado como "óptimo" nadie puede garantizar que la persona que vaya a habitar el espacio se sienta confortable. Porque también existe un elemento subjetivo, muy complejo y prácticamente imposible de predecir. Este elemento puede depender de la anatomía del cuerpo (como la altura y el peso), la cultura, el uso que se le dé al espacio e incluso la historia del individuo que habite el espacio.

Por lo tanto, ¿qué es el confort? Definir esta palabra tan compleja obliga a hablar de la relación entre el cuerpo humano y el espacio; de lo que está fuera y lo que se puede sentir dentro. Es un equilibrio muy complejo y delicado que engloba cosas tan diferentes como la ciencia, la percepción; el diseño y la experiencia. Precisamente es en esa tensión donde se esconde "el confort" y a donde deberían llegar los arquitectos.

| TIPO | CONCEPTO | | SÍMBOLO | UNIDAD | LÉXICO |
|--------------------|-------------------------------|---------------|---------|-------------|-----------------|
| VISUALES | Luminancia (nivel) | | E | lux | Alto/Bajo |
| | Luminancia (contraste) | | L | - | Alto/Bajo |
| | Direccional (efecto sombra) | | - | - | Difuso/Dirigido |
| | Color de la luz | Temp. Color | Tc | K | Frío/Cálido |
| | | Rendim. Color | IRC | % | Bueno/Malo |
| Color del ambiente | | - | - | Neutro/Vivo | |
| ACÚSTICOS | Nivel sonoro | | N | dB | Alto/Bajo |
| | Tono (Frecuencia fundamental) | | f | Hz | Agudo/Grave |
| | Timbre (Composición espacial) | | - | - | Tipo... |
| | Direccionalidad | | - | - | Difuso/Dirigido |
| | Reverberación | | - | - | Alto/Bajo |
| CLIMÁTICOS | Temperatura | Del aire | Ta | °C | Alto/Bajo |
| | | De radiación | Tr | °C | Alto/Bajo |
| | Humedad Relativa | | HR | % | Húmedo/Seco |
| | Movimiento del aire | | v | m/s | Fuerte/Flojo |
| | Composición del aire | | - | - | Limpio/Sucio |

Figura 12: Tabla de Parámetros ambientales (Elaboración propia a partir del libro *Arquitectura y climas* de Rafael Serra)

En el análisis del confort de *Arquitectura y climas* (Serra, 1999), Serra introduce una idea clave que ayuda a comprender aún más este concepto. La compleja " subjetividad " que se ha mencionado anteriormente también está definida en el libro. Hasta ahora, se ha intentado explicar la parte más objetiva de la que habla Serra (los parámetros ambientales medibles), pero esta visión del confort es incompleta si no se tiene en cuenta al individuo que habita el espacio. Como bien se ha dicho anteriormente cada individuo tiene sus particularidades físicas, sociales y emocionales. Serra insiste en que no todos los cuerpos son iguales, al igual que la forma en la que se habita un mismo espacio. Lo que para uno puede ser un entorno ideal y óptimo para otro puede resultarle incomodo e incluso hostil.

El primer grupo de factores que forman la percepción del confort son las condiciones biológicas-fisiológicas. Serra explica que estas son las características inherentes al cuerpo humano; como la edad, el género, el estado de salud y la complexión del cuerpo. También la genética juega un papel extraordinariamente importante ya que puede llegar a condicionar incluso, por ejemplo, la sensibilidad al frío o calor. Un anciano y un joven tampoco perciben el frío ni el calor de la misma forma; al igual que una persona que sufre de algún tipo de enfermedad o que tiene algún tipo de

restricción en su movilidad pueden tener una necesidad térmica o espaciales muy diferentes a las de una persona sana.

A continuación, Serra señala la importancia de las condiciones sociológicas. Estas incluyen todo aquello que rodea cultural y socialmente al individuo: el tipo de actividad que realiza, su entorno familiar, su nivel educativo, su sistema de valores, sus hábitos, sus costumbres. No es lo mismo diseñar para alguien que trabaja en casa todo el día, que para alguien que solo vuelve a dormir. Tampoco es igual pensar un espacio para un contexto cultural que valora la privacidad que para otro que favorece la vida comunitaria. Estos factores sociológicos son los que anclan la experiencia espacial a un contexto humano concreto.

Por último, están las condiciones psicológicas, quizás las más volátiles y difíciles de prever. Aquí entran en juego el estado de ánimo, la personalidad, las experiencias pasadas, las expectativas o las emociones. Una misma habitación puede ser acogedora o angustiante, dependiendo del momento vital en que se encuentre quien la habita. La memoria también influye: el recuerdo de un lugar puede condicionar cómo se percibe uno nuevo que se le asemeje, para bien o para mal. Esta dimensión subjetiva, íntima, introduce una complejidad que escapa a las herramientas tradicionales de medición.

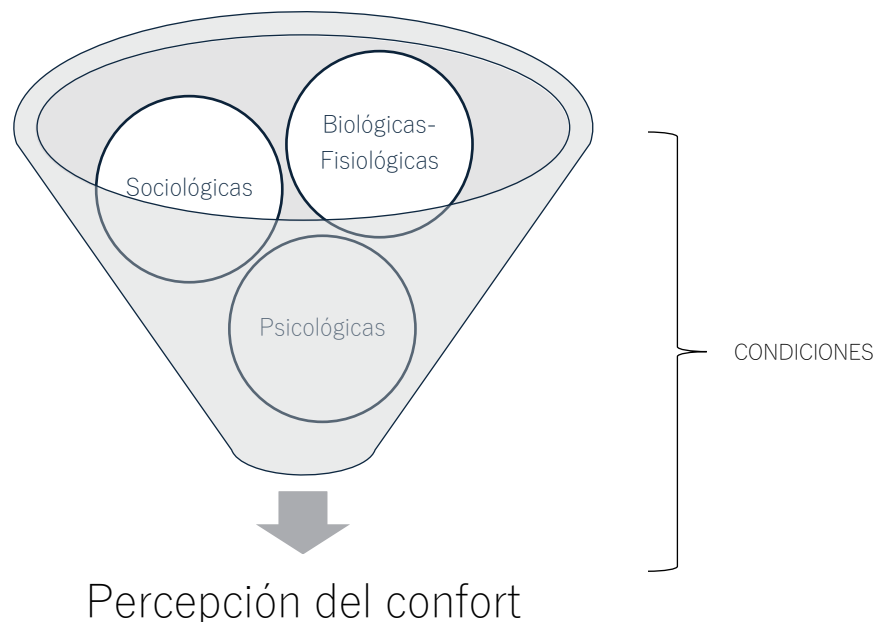


Figura 13: Relación de condiciones del individuo (Elaboración propia)

La gran aportación de Serra es que no concibe estos elementos por separado, sino como partes de una relación continua. El confort, tal como lo experimenta una persona, es el resultado de una interacción entre el entorno físico y su propio ser. Un parámetro ambiental determinado puede producir sensaciones completamente distintas según quién lo perciba y en qué circunstancias lo haga. Por eso, afirma que la arquitectura no puede limitarse a manipular las condiciones objetivas del espacio; debe también intentar comprender (o al menos no ignorar) las variables personales que influirán en cómo ese espacio será vivido.

En el contexto de este trabajo, sin embargo, el foco estará puesto principalmente en los aspectos ambientales del confort, aquellos que pueden ser evaluados y diseñados desde la arquitectura y la tecnología debido a que el objetivo final es la creación del Excel, que calcule los mínimos para una vivienda autosuficiente. No obstante, es importante reconocer que los factores individuales también existen y que su influencia, aunque difícil de medir, es decisiva en la experiencia final del usuario. La parte subjetiva del confort constituye un campo de estudio en sí mismo, que excede el alcance de este TFG, pero cuya presencia atraviesa de manera silenciosa (y a veces decisiva) cada decisión proyectual.

Espacios mínimos habitables

Para reflexionar sobre los espacios mínimos necesarios para habitar, se parte de dos referencias fundamentales: por un lado, el marco normativo vigente en Madrid, concretamente el Plan General de Ordenación Urbana (PGOUM)¹⁴, que nos ofrece una base legal clara sobre las condiciones mínimas exigidas para considerar una vivienda como habitable. Por otro lado, el libro *Arte de proyectar en arquitectura*¹⁵ de Ernst Neufert, que se convierte en una herramienta para entender cómo organizar funcionalmente el espacio, conciliando eficiencia, confort y dignidad.

La elección de Madrid como contexto para este trabajo no es arbitraria. Aunque podría haberse abordado desde otros lugares, Madrid se presenta como la opción más conveniente debido a su accesibilidad y la facilidad para obtener datos precisos para el autor. El PGOUM (Ayuntamiento de Madrid, 2024), siendo un marco normativo vigente y de acceso público, permite contar con parámetros claros y específicos que orientan el diseño de viviendas mínimas en esta ciudad. Además, trabajar con Madrid no solo facilita el acceso a la normativa y los requisitos técnicos, sino que también proporciona un contexto climático (mediterráneo) concreto que resulta práctico y relevante para la investigación. De este modo, el trabajo se puede desarrollar en un entorno familiar y accesible, asegurando que las fuentes de información sean inmediatas y que los ejemplos utilizados puedan contextualizarse de manera realista.

El PGOUM (Ayuntamiento de Madrid, 2024) principalmente actúa como un filtro inicial. Las exigencias de este no solo definen las condiciones para que una vivienda sea mínima, sino que al mismo tiempo marcan un abanico de lo que es aceptable desde el punto de vista de la habitabilidad.

Por ejemplo, en Madrid, se establece hoy en día por ley, que una vivienda no puede tener menos de 40 metros cuadrados de superficie útil. Este mínimo es sin contar las superficies de espacios como las terrazas, balcones o una zona con una altura libre inferior a 2,20 metros. El espacio de la vivienda entonces tiene que articularse de forma que cumpla estos requisitos que han sido creados para asegurar el confort físico y funcional de los usuarios.

¹⁴ 2024. "Ayuntamiento de Madrid." Compendio MPG NNUU. Febrero.

https://transparencia.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCUrbanismo/PGOUM/CompendioNNUU/Compendio%202024/COMPENDIO_MPG_NNUU_2024.pdf.

¹⁵ Neufert, Ernst. 1995. *Arte de proyectar en arquitectura*. Barcelona: G.Gilli.SA.

Entre estos requisitos se encuentra la necesidad de disponer al menos de una estancia principal con una superficie útil mínima de 12 metros cuadrados. Esta condición no es meramente cuantitativa: implica también una cualidad espacial, al exigir que en dicha estancia pueda inscribirse un círculo de 2,70 metros de diámetro, lo que garantiza una mínima libertad de movimiento y la posibilidad de uso versátil. Los dormitorios secundarios, por su parte, deben tener una superficie de al menos 7 metros cuadrados, siendo también necesario que puedan alojar un círculo de 2 metros, lo que permite distinguir el habitar del simple hecho de dormir.

El baño, aún más reducido, debe alcanzar al menos los 3 metros cuadrados, con el equipamiento básico necesario: lavabo, inodoro y ducha o bañera. Además, se establecen relaciones funcionales dentro de la vivienda: el baño principal no puede tener acceso directo desde la cocina ni desde un dormitorio, evitando así situaciones de insalubridad o falta de privacidad. En el caso de viviendas con más de un baño, se permite mayor flexibilidad en estas relaciones, pero siempre manteniendo unos criterios mínimos.

La cocina, otro de los espacios esenciales para la vida, debe contar con ventilación natural directa. Esta exigencia, aunque a veces relegada a una mera cuestión técnica, encierra un principio profundo: la necesidad de que el aire fluya y que el espacio respire. Finalmente, se requiere que el salón-comedor permita una circulación cómoda y un amueblamiento lógico, es decir, que no sólo exista el espacio físico, sino que ese espacio tenga sentido y funcionalidad para quien lo habita.

Otros requisitos:

La altura libre mínima en las estancias habitables (excepto la cocina) es de 2,50 metros. En la cocina y en las estancias no habitables, la altura libre mínima es de 2,20 metros. Todas las estancias habitables deben tener ventilación y luz naturales directas. Las ventanas deben tener una superficie mínima del 12% de la superficie útil de la estancia. Y, por último, la vivienda debe tener una fachada de al menos 3 metros de largo.

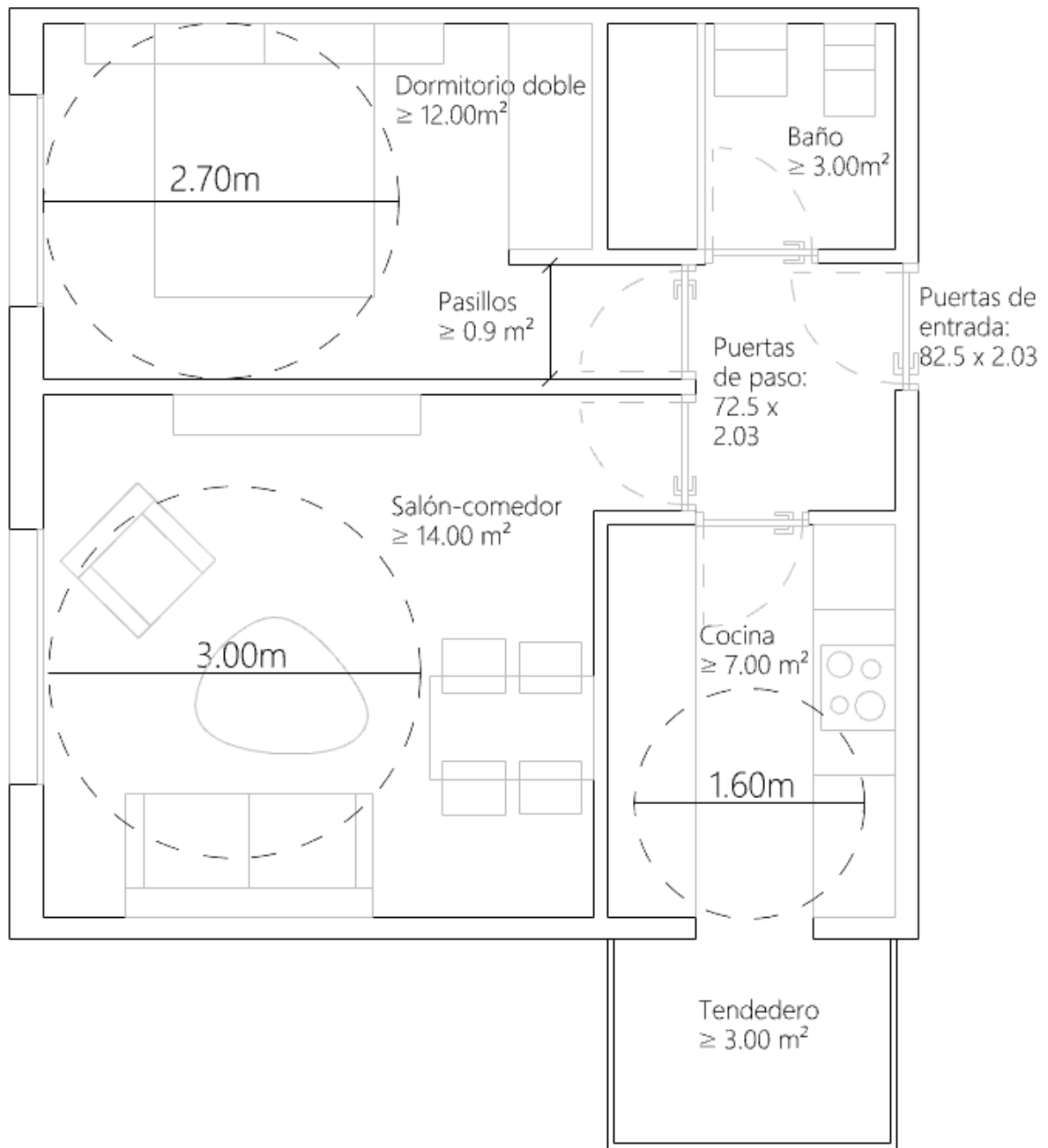


Figura 14: Croquis de una vivienda mínima según PGOUM (Elaboración propia)

Es de gran importancia comprender que estos son solo algunos de los requisitos mínimos establecidos por el PGOUM y que simplemente se ha decidido centrarse en ellos porque son los más relevantes para el proyecto. Cabe señalar que estos criterios no son absolutos y que pueden variar según la ciudad o el país, por lo que no tienen un carácter universal. Además, aunque se reconoce la importancia de estos aspectos normativos, no se puede profundizar en exceso en este punto, ya que no sería sostenible para el desarrollo completo del TFG. Por ello, se está abordando de forma general, resaltando únicamente lo esencial según el criterio del autor.

Neufert, por su parte, no se detiene tanto en lo legal como en lo posible. Su aproximación parte de la eficiencia, entendida como la capacidad de organizar el espacio para que cada centímetro cuadrado contribuya a la experiencia de habitar. Sus esquemas y proporciones (aunque a veces criticados por su estandarización), permiten entender cómo se pueden reducir al mínimo los espacios sin sacrificar dignidad ni funcionalidad. Su trabajo sirve como puente entre el número y el cuerpo humano, entre la métrica y la vida cotidiana.

Gracias a la información proporcionada por el libro *Arte de proyectar* (Neufert, 1995), se entiende que Neufert trata la vivienda mínima desde un enfoque más bien funcional y dimensional (como se ha mencionado anteriormente). No se limita solo a ofrecer una definición teórica de lo que se considera "mínimo" sino que también, recopila una gran serie de estándares espaciales y configuradores. Estos estándares permiten proyectar viviendas compactas que, no obstante, satisfacen todas las necesidades del día a día como comer, cocinar, dormir, ducharse, etc.

Estas viviendas mínimas de Neufert que normalmente tienen como objetivo satisfacer a 1 o 2 personas, están estructuradas a partir de una distribución altamente eficiente del espacio y apoyada en criterios ergonómicos (como se muestra en la figura 16 y 17).

Ernst Neufert también propone superficies mínimas orientativas para cada uso; estos son uno de los ejemplos:

Las habitaciones individuales ocupan entorno 6 y 7 metros cuadrados, una habitación doble ocupa entre 10 y 12 metros cuadrados, una sala de estar entre 12 y 15 metros cuadrados, la cocina (que puede estar dentro de la sala de estar) entre 4 y 6 metros cuadrados, un baño (completamente equipado) entre 3 y 4,5 metros cuadrados. Juntando todos estos parámetros se puede entender que una vivienda mínima constaría de 30 metros cuadrados aproximadamente (se insiste en que estas cifras pueden variar según las normativas locales, la cultura y el contexto histórico).

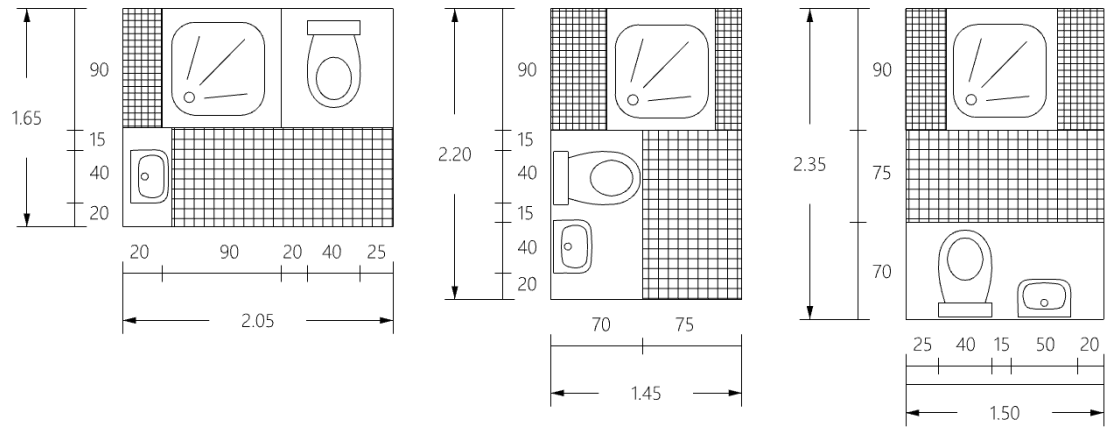
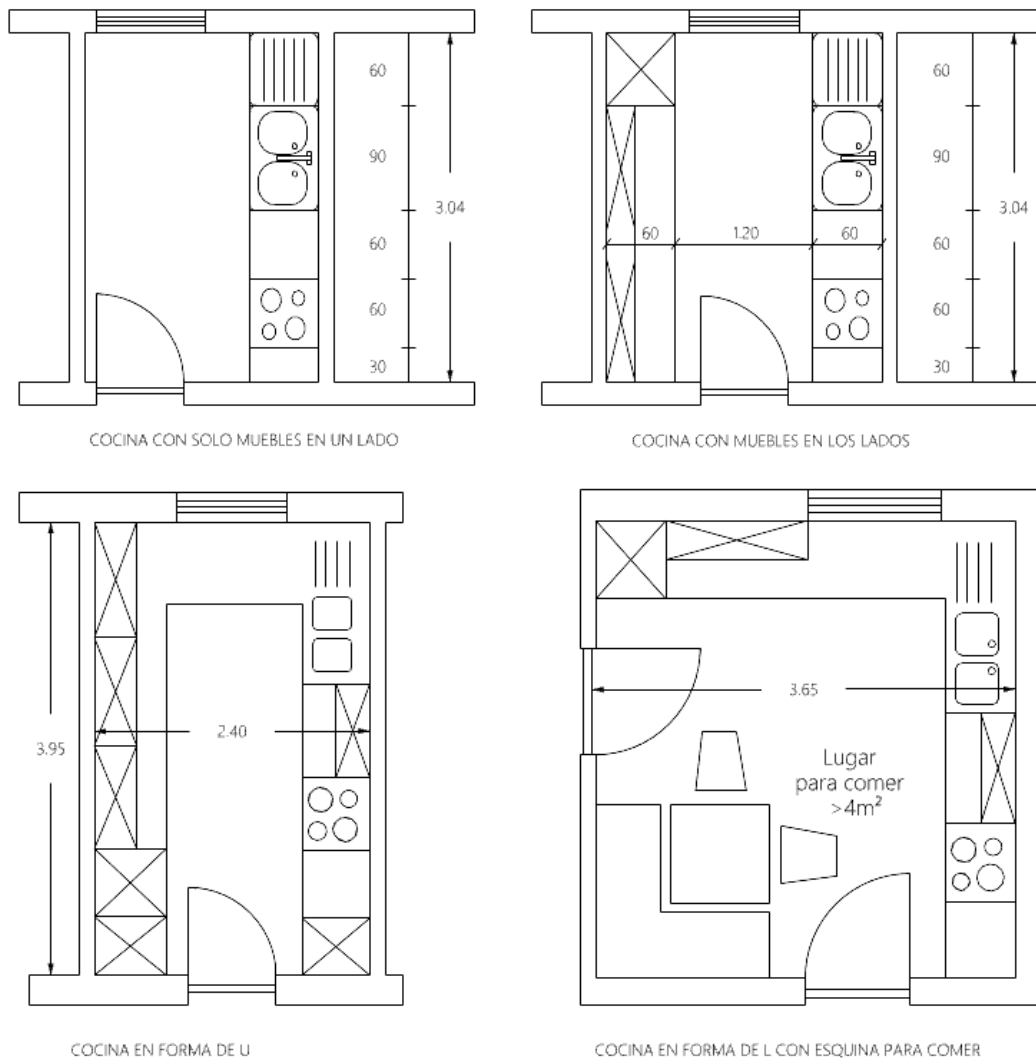


Figura 15: Esquemas de tipos de baños mínimos (Elaboración propia a partir de la Página 222 de "Arte de proyectar en arquitectura" de Ernst Neufert)



COCINA CON SOLO MUEBLES EN UN LADO

COCINA CON MUEBLES EN LOS LADOS

COCINA EN FORMA DE U

COCINA EN FORMA DE L CON ESQUINA PARA COMER

Figura 16: Esquemas de tipos de cocinas mínimas (Elaboración propia a partir de la Página 215 de "Arte de proyectar en arquitectura" de Ernst Neufert)

Aparte de estas aproximaciones orientativas, Neufert también proporciona una tabla con las medidas reales de los objetos para poder utilizarla a la hora de diseñar los espacios. Un ejemplo de ello es la tabla de la figura 5 donde se pueden ver las dimensiones de los aparatos del baño.

| Aparato | Superficie | |
|--|------------------|------------------|
| | Anchura (cm) | Profundidad (cm) |
| Lavamanos, Bidet | | |
| 1 Lavamanos individual | >60 | >55 |
| 2 Lavamanos doble | >120 | >55 |
| 3 Lavamanos empotrado de un seno con arm. Inf. | >70 | >60 |
| 4 Lavamanos empotrado de dos senos con arm. Inf. | >140 | >60 |
| 5 Lavamanos con pedestal | >50 | >40 |
| 6 Bidet, mural o apoyado en suelo | 40 | 60 |
| Bañeras | | |
| 7 Bañera | >170 | >75 |
| 8 Ducha | >80 | >80* |
| WC y Unitarios | | |
| 9 WC con tanque bajo | 40 | 75 |
| 10 WC con tanque alto o fluxor | 40 | 60 |
| 11 Unitario | 40 | 40 |
| Aparato de lavado | | |
| 12 Lavadora | 40 a 60 | 60 |
| 13 Secador | 60 | |
| Muebles de baño | | |
| 14 Armarios bajos | Según fabricante | 40 |
| *en polibanes con a=90, también 75cm | | |

Figura 17: Tabla de medidas de los aparatos del baño (Elaboración propia a partir de la Página 224 de "Arte de proyectar en arquitectura" de Ernst Neufert)

Por otro lado, Neufert, recalca la importancia de la flexibilidad y la multifuncionalidad en una vivienda mínima como esta. Esto significa que el mobiliario de la casa debe adaptarse a distintos usos a lo largo del día. Por ejemplo, haciendo que el mobiliario sea plegable, que esté integrado o que sean móviles para que en un único espacio se pueda ejercer diversos usos (como en la figura 18). Una forma más sencilla de ver este concepto sería imaginando un salón que se convierta en una zona de trabajo o incluso un dormitorio; todo esto según el momento del día.

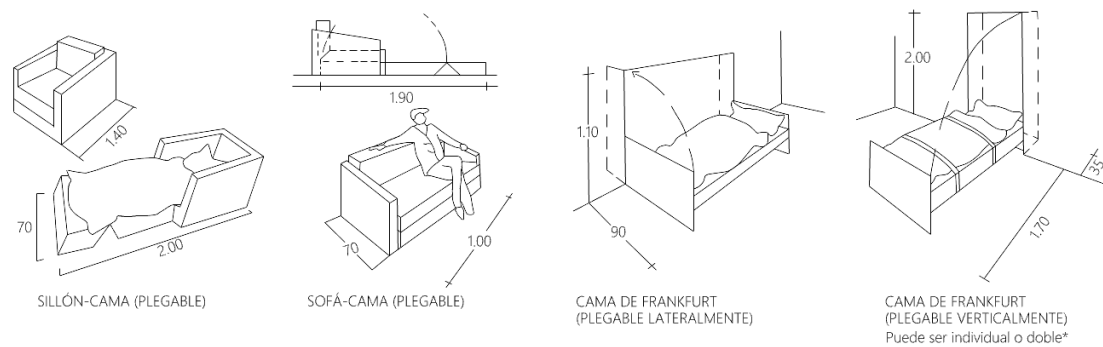


Figura 18: Tipos de camas plegables (Elaboración propia a partir de la Página 218 de "El arte de proyectar en arquitectura" de Ernst Neufert)

Para este TFG, estos valores del PGOUM (Ayuntamiento de Madrid, 2024) y del libro de Neufert (Neufert, 1995), se van a utilizar como base para establecer una metodología de cálculo que se adapte a escenarios diversos. Dicho de otra forma, si en la futura hoja de cálculo del Excel se introduce una unidad familiar de 6 personas, se aplicarán directamente estas referencias mínimas para estimar la superficie necesaria. Esto se hará de una forma muy sencilla, que será multiplicar los valores de estas referencias por el número de ocupantes que se han elegido; por ejemplo, si para una persona se consideran 5 metros cuadrados como mínimo para x espacio, se entenderá que para las 6 personas que se han dicho previamente, se necesitarán 30 metros cuadrados. De este modo, los estándares de Neufert y del PGOUM servirán como herramienta de referencia para estimar las superficies de estas viviendas autosuficientes en función de la población a alojar.

También cabe recalcar que, para este trabajo, debido a que se ha recopilado información tanto del libro de Neufert como de las normas urbanísticas de Madrid, a la hora de crear el Excel siempre se tendrá en cuenta los mínimos más restrictivos.

Para terminar con este capítulo, se debe mencionar que, en el libro *Arte de proyectar en arquitectura* (Neufert, 1995), Neufert ofrece además de dimensiones mínimas por estancia, una diferenciación fundamental de los espacios; los cuales son los espacios principales y los espacios auxiliares. Esta clasificación de los espacios de la vivienda no solo responde a los criterios funcionales, sino que también ayuda a identificar la importancia "relativa" de cada espacio de la vivienda.

Los espacios principales como pueden ser los dormitorios, los baños o la cocina; son los espacios donde se producen la mayoría de las actividades primarias del "habitar". Estos espacios están, dicho de otra forma, directamente relacionados con las actividades fundamentales de la vida cotidiana (descansar, alimentarse, socializar, trabajar y otras muchas que son necesarias para la supervivencia y el bienestar).

En este sentido, los espacios principales no solo deben ser lo suficientemente amplios como para acomodar las actividades, sino que también deben estar diseñados de tal forma que permita una fluidez y un confort en los usuarios; permitiendo así una relación armoniosa con el entorno.

Aparte de estos espacios principales, también están los espacios auxiliares, nombrados anteriormente. Estos espacios auxiliares están compuestos por elementos como los pasillos, los distribuidores o las zonas de almacenamiento. Principalmente cumplen un papel de soporte o de transición. Estos espacios, aunque estén categorizados como auxiliares, son esenciales para las viviendas. El motivo por el que están categorizado como auxiliares es porque estos espacios no son directamente responsables de las funciones principales de habitar. El diseño de estos, por lo tanto, deben de ser más flexibles y el tamaño debe ajustarse de acuerdo con las necesidades funcionales de la casa. Los espacios auxiliares son aquellos que facilitan el acceso a los espacios principales y en una incontable cantidad de casos, son los que permiten la organización de los elementos de la casa; como, por ejemplo, el almacenamiento de ropa, de utensilios o de productos de limpieza. Pero, a pesar de su gran utilidad, la función secundaria que tienen estos, les dan menos importancia en términos de espacio dentro del hogar.

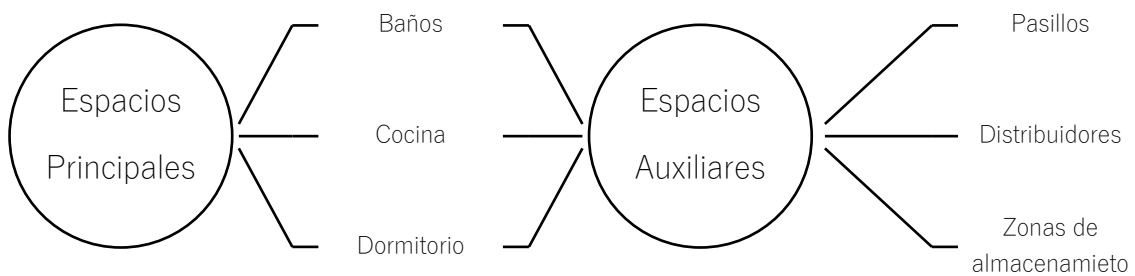


Figura 19: Croquis de espacios principales y auxiliares (Elaboración propia)

De forma indirecta, se puede comprender por el libro de Neufert (Neufert, 1995), que esta división entre espacio secundarios y espacios principales; revela una jerarquía espacial que resulta especialmente útil a la hora de pensar la distribución o a la hora de reducir el espacio de algún elemento. La reducción del espacio, en este caso, puede implicar que estos elementos auxiliares acaben siendo fusionados con los espacios principales o a la reconfiguración de la distribución del espacio (pensando siempre en mantener la calidad de vida del hogar).

Reflexionando, el concepto de jerarquía espacial se convierte en una herramienta muy poderosa a la hora de diseñar (sobre todo a la hora de pensar en viviendas mínimas), ya que facilita la organización de los elementos de la vivienda de una forma más eficiente. Teniendo claro esta estructura, también se hace posible priorizar ciertas superficies, y en casos extremos, la eliminación o integración de otros elementos en un mismo volumen (sin comprometer la dignidad del individuo). La oportunidad que brinda pensar en la jerarquía de los espacios va a resultar clave a la hora de crear el Excel ya que no solo se trata de reducir los números de los metros cuadrados, sino que me permitirá hacerlo sabiendo que cada área cumple su función de manera eficiente y eficaz.

Se debe comentar que, para este TFG, no se busca eliminar ni infravalorar los espacios auxiliares, pero, en situaciones límite, si se da con la obligación de reducir algún espacio, siempre priorizarán los auxiliares. Así se podrá garantizar que las funciones esenciales de la vivienda queden resueltas correctamente, aunque sea reduciendo alguna superficie auxiliar.

En resumen, una vivienda, por muy pequeña que sea, debe contar con las áreas necesarias para asegurar el reposo, la alimentación, la higiene y la socialización de sus habitantes. El espacio debe permitir que las actividades más importantes se puedan desarrollar de forma sencilla, cómoda y eficiente; mientras que las funciones auxiliares, aunque son necesarias, pueden verse reducidas.

Con esta estrategia también se busca asegurar, como se ha mencionado numerosas veces, una habitabilidad digna incluso en unas condiciones como las de este TFG de máxima compacidad posible sin renunciar a la calidad de vida y el confort.

03

Influencia del clima
en las viviendas
autosuficientes

El clima mediterráneo

La autosuficiencia de una vivienda no puede considerarse como un modelo universal ni aplicarse de forma indistinta en cualquier lugar del planeta. Por el contrario, como señala Hassan Fathy (Fathy, 2021), la arquitectura debe surgir como una respuesta directa a las condiciones particulares de cada entorno, siendo el clima es uno de los factores más determinantes. Diseñar una vivienda autosuficiente en un entorno desértico, donde el acceso al agua es limitado y las temperaturas son extremas, implica retos muy diferentes a los que se presentan en un contexto como Islandia, donde la prioridad es conservar el calor. En el marco de este Trabajo de Fin de Grado, cuyo objetivo es establecer los requerimientos mínimos para que una vivienda sea autosuficiente en términos de superficie y recursos necesarios para garantizar las condiciones básicas de habitabilidad, resulta esencial situar el análisis dentro de un clima específico. En este caso, se ha optado por el clima mediterráneo.

Como se ha mencionado anteriormente, la elección del clima mediterráneo no es arbitraria. Como el autor de este trabajo es de Madrid y al igual que se ha utilizado el PGOUM (Ayuntamiento de Madrid, 2024) en el capítulo 2, también se considera necesaria la investigación del clima de esta zona de España. Madrid, aunque este ubicada en el interior de la península ibérica, se encuentra dentro de la clasificación del clima mediterráneo. Por lo tanto, resulta lógico que el diseño de una vivienda autosuficiente parta de la comprensión de este clima y de cómo puede influir en el comportamiento térmico, el consumo energético y las estrategias de adaptación bioclimática de una casa.

Para abordar este capítulo, principalmente se va a tomar de referencia de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología de España, s.f.)¹⁶, las clasificaciones climáticas de Köppen-Geiger¹⁷ y el libro de Javier Neila, *Arquitectura bioclimática y urbanismo en un entorno sostenible* (Neila Gonzalez, 2004)¹⁸.

Con base a estas referencias el clima mediterráneo se caracteriza por inviernos suaves y veranos calurosos y secos, con una pluviometría moderada concentrada principalmente, en otoño y primavera. Este régimen climático genera condiciones térmicas moderadamente extremas en ciertos momentos períodos del año. En los días calurosos del verano se exigirán sistemas eficaces de protección solar y refrigeración pasiva mientras que en las noches frías del invierno se requerirá conservar el calor

¹⁶ Agencia Estatal de Meteorología de España. (n.d.). Retrieved from <https://www.aemet.es/es/portada>

¹⁷ Wikipedia. (n.d.). Retrieved from Clasificación climática de Köppen: https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen

¹⁸ Neila Gonzalez, F. J. (2004). *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*. Munilla-Lería.

generado durante el día. El rango de temperatura entre la mañana y la noche puede llegar a ser bastante amplio, lo que permite utilizar estrategias de alta inercia térmica, como pueden ser los muros gruesos o materiales avanzados con alta capacidad de almacenamiento térmico. En una ciudad como Madrid, donde la continentalidad acentúa las oscilaciones térmicas, este tipo de estrategias se vuelven especialmente útiles.

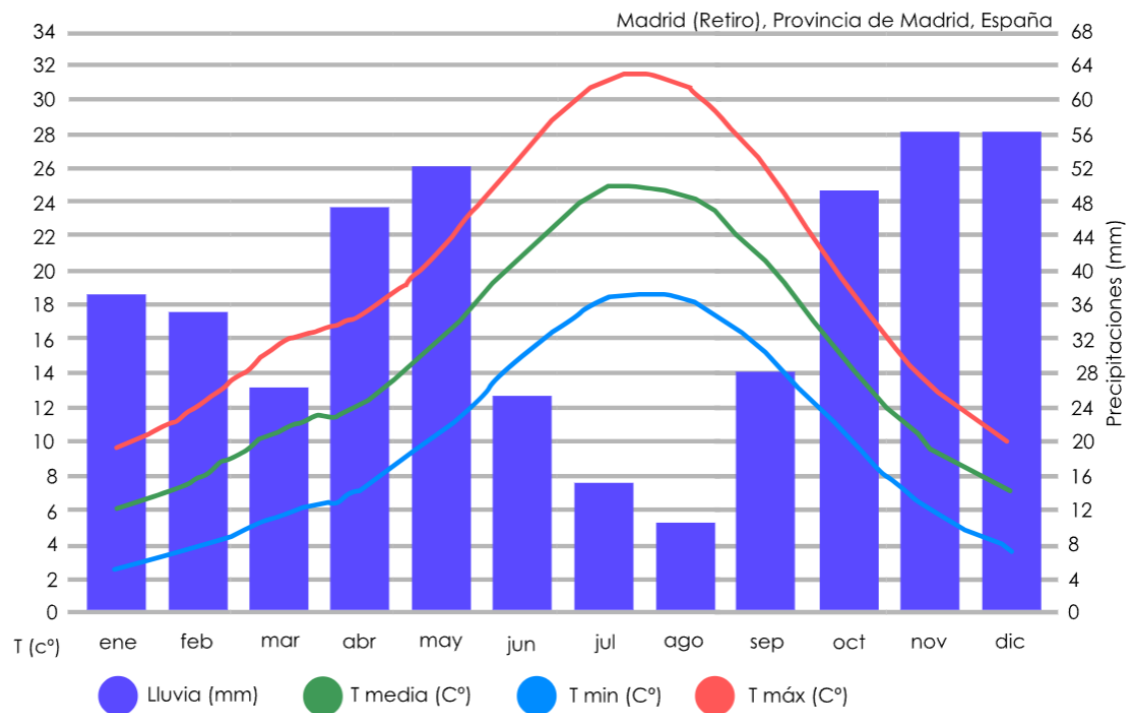


Figura 20: Temperatura y precipitación de Madrid 2024 (Elaboración propia a partir de los datos de la AEMET)

Para tratar el comportamiento climático de forma más precisa y su influencia en la arquitectura es necesario referirse a uno de los sistemas más utilizados para la clasificación climática; desarrollado por el climatólogo ruso-alemán Wladimir Köppen (Wikipedia, s.f.) y posteriormente completada por el meteorólogo Rudolf Oskar Robert Williams Geiger. El sistema Köppen-Geiger se basa en variables como la temperatura media mensual y la precipitación; para posteriormente dividir el planeta tierra en zonas climáticas.

Según la clasificación Köppen-Geiger (Figura 21), el clima mediterráneo pertenece al grupo Csa donde la letra "C" indica un clima templado. La letra "s" significa que los veranos son secos y por último la letra "a" significa que el verano es cálido. Esta forma de clasificación del clima en el entorno permite identificar de forma precisa las características comunes del resto de regiones mediterráneas y facilita la comparación con los demás climas.

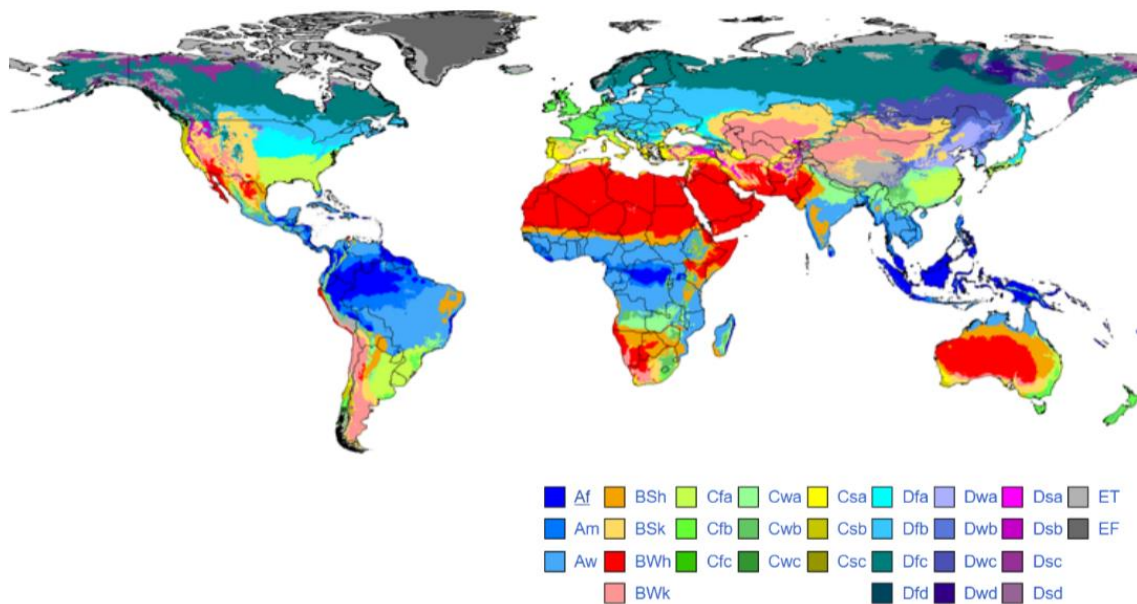


Figura 21: Clasificación climática de Köppen-Geiger (Ilustración tomada de Wikipedia)

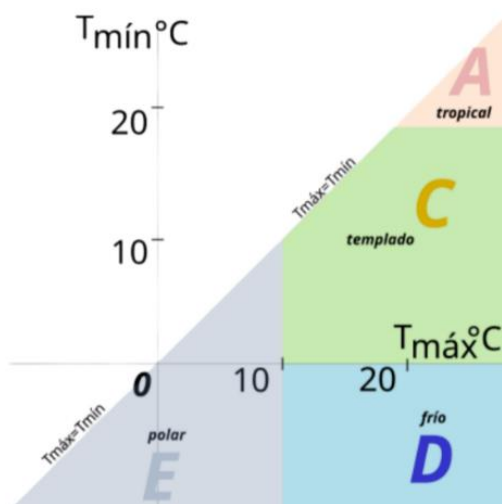


Figura 22: Clasificación climática de Köppen-Geiger por temperaturas (Ilustración tomada de Wikipedia)

A raíz de la comprensión de esta clasificación y una vez habiendo entendido el comportamiento de este clima, de forma generalizada, se puede empezar a replantear soluciones arquitectónicas para este clima. Tal como desarrolla el arquitecto Javier Neila en su libro *Arquitectura bioclimática* (Neila Gonzalez, 2004), el diseño de las viviendas debe ser sensible al medio y aprovechando las condiciones favorables del entorno, pero también protegiéndose de las adversidades. Por el libro de Neila se puede entender que la arquitectura bioclimática no busca imponer unas fórmulas mágicas que sirvan en todos los lugares del mundo. sino que busca la capacidad de adaptación al lugar. En

este sentido, para hacer una vivienda autosuficiente, comprender el clima mediterráneo (en este caso), es la clave para poder diseñarla de la forma más realista y eficaz posible.

Según Neila para el clima mediterráneo, dice que una vivienda debe priorizar la protección frente al calor y al mismo tiempo captar la energía solar en invierno de forma muy resumida. A lo largo de este capítulo se profundizará en las estrategias concretas que permiten esta dicha "adaptación", estableciendo un diálogo entre el clima mediterráneo y los principios de las soluciones arquitectónicas que se pueden llegar a barajar.

Analizando el libro *Arquitectura y climas* (Neila Gonzalez, 2004) se puede comprender que desde tiempos antiguos los humanos y los animales han tomado ventaja pasivamente de los recursos naturales para su supervivencia. Con la arquitectura sucede algo parecido; y este pensamiento creó la arquitectura bioclimática; donde para combatir contra el invierno, hay que basarse en tres pilares fundamentales los cuales son; la captación, la acumulación y la distribución de la energía. Si uno de estos tres pilares llegase a fallar, el sistema no funcionaría eficientemente. En cuanto al diseño óptimo que hay que seguir en verano es un poco más complicado. Esto se debe a que, a diferencia del invierno, no hay una fuente natural equivalente a la radiación solar para generar calor. Por ende, en verano, el objetivo principal es evitar el sobrecalentamiento (la acumulación excesiva del calor en los espacios cerrados) y mejorando la sensación térmica sin necesariamente enfriar el aire mediante la refrigeración mecánica.

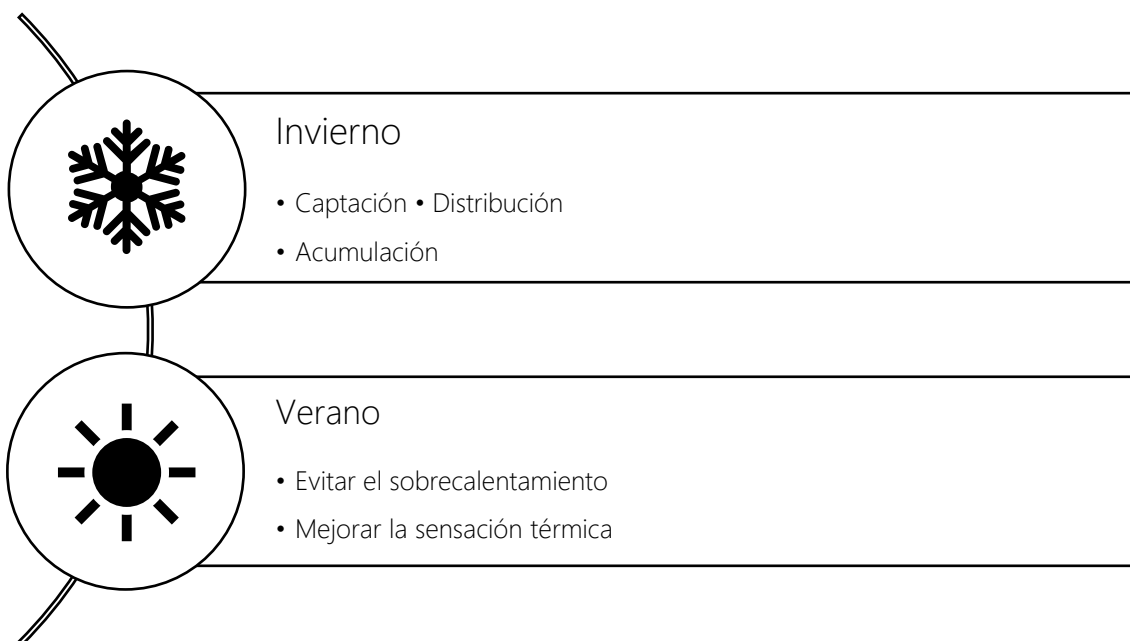


Figura 23: Estrategias bioclimáticas dependiendo de la época del año (Elaboración propia)

En cuanto a las soluciones de diseño a la hora de combatir el invierno Neila recomienda que se debe aprovechar la energía solar. La radiación solar es la única fuente de energía térmica (junto con la geometría de la biomasa). En el libro *Arquitectura bioclimática* (Neila Gonzalez, 2004), está escrito que hay 4 tipos de captación según el momento de aprovechamiento de la energía que son las siguientes:

- A. **Captación directa:** Tiene una entrada directa del calor a través de superficies acristaladas como ventanas o lucernarios. Esta solución es efectiva y económica, pero es muy dependiente del sol y tiene una distribución irregular.
- B. **Captación directa con lazo convectivo:** Esta solución mejora la distribución del aire caliente mediante espacios intermedios y convección natural.
- C. **Captación retardada:** Esta solución cuenta con muros o cubiertas opacas que acumulan el calor a lo largo del día para posteriormente transferirlo lentamente al interior por medio de la conducción. Este método permite ajustar el momento de liberación del calor, pero cuenta con la desventaja de que tiene muchas pérdidas en comparación con las demás.
- D. **Captación mixta:** Combina los anteriores sistemas para maximizar eficiencia.

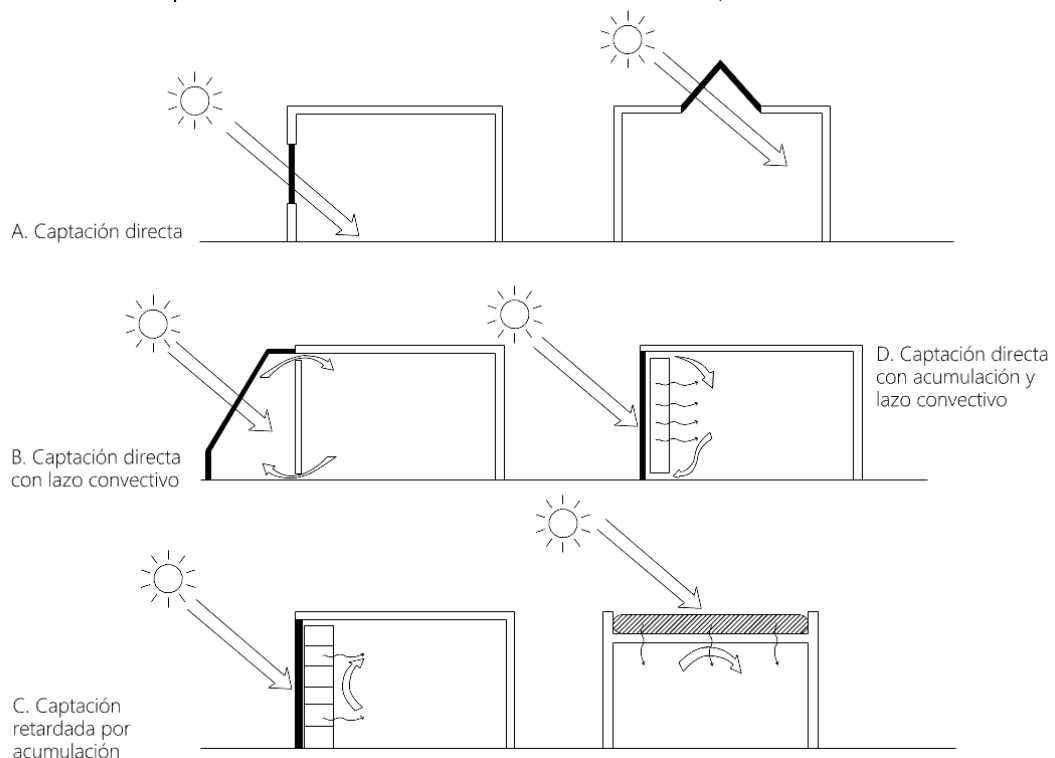


Figura 24: Clasificación de los sistemas de captación (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila Gonzalez, 2004) página 262)

En cuanto las soluciones para combatir el verano, como se ha mencionado anteriormente, resultan un tanto más retadoras. En verano hay que evitar el sobrecalentamiento y mejorar la sensación térmica y las soluciones para lograr esto se basan en 3 líneas generales:

Actuaciones contra el sobrecalentamiento

- Protección de los huecos acristalados:

Esta solución trata de ubicar y distribuir correctamente las ventanas para minimizar la entrada directa de radiación. También se pueden emplear parasoles (fijos o móviles) y vidrios especiales que estén coloreados o que sean reflectantes que reduzcan la cantidad de energía transmitida.

- Cubierta y cerramientos:

Neila recomienda utilizar recubrimientos de color claro o materiales reflectantes en la cubierta. También propone establecer cubiertas ventiladas/autoventiladas que disipen el calor absorbido. En algunas soluciones se incorporan recubrimientos vegetales, que actúan como aislante térmico y reduciendo la radiación transmitida hacia el interior de la vivienda.

- Muros y fachadas:

Se recomienda aplicar tratamientos especiales de pintura, sombreado o ventilación para limitar la captación del calor en las superficies opacas.

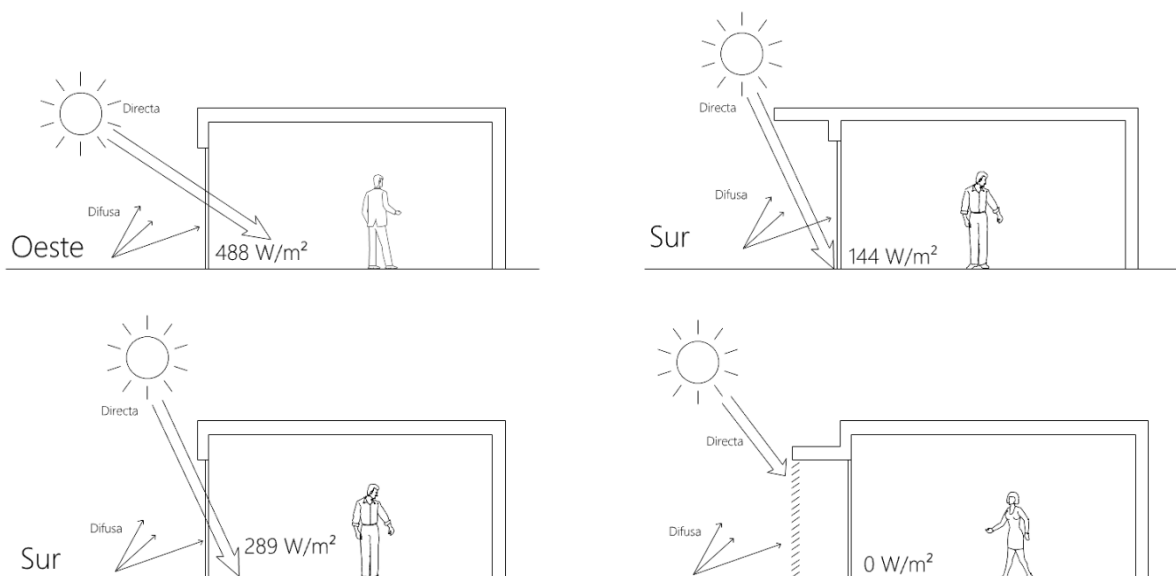


Figura 25: Ganancias solares a través de huecos con distintas orientaciones (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila Gonzalez, 2004) página 288)

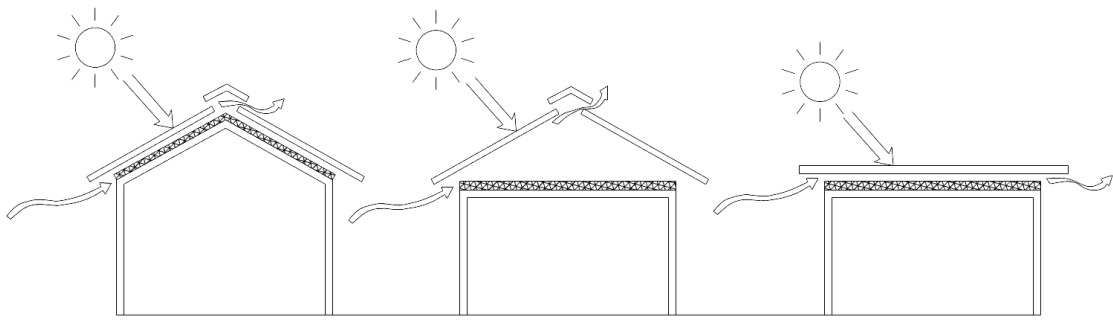


Figura 26: Tipos de cubiertas ventiladas (Elaboración propia a partir de ilustración de Arquitectura bioclimática (Neila Gonzalez, 2004) página 295)

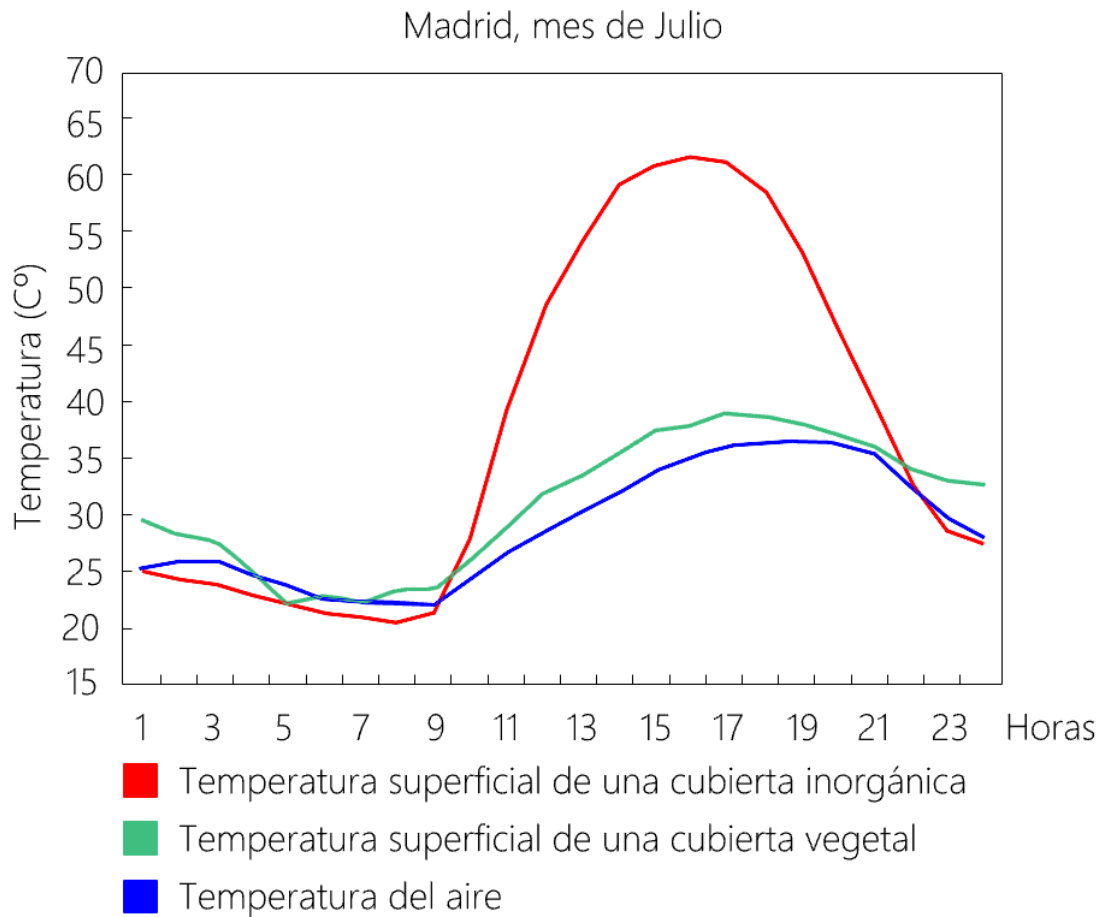


Figura 27: Tipos de cubiertas ventiladas orientaciones (Elaboración propia a partir de ilustración de Arquitectura bioclimática (Neila Gonzalez, 2004) página 299)

Actuaciones para mitigar la sensación térmica de calor sin el uso de enfriamiento activo:

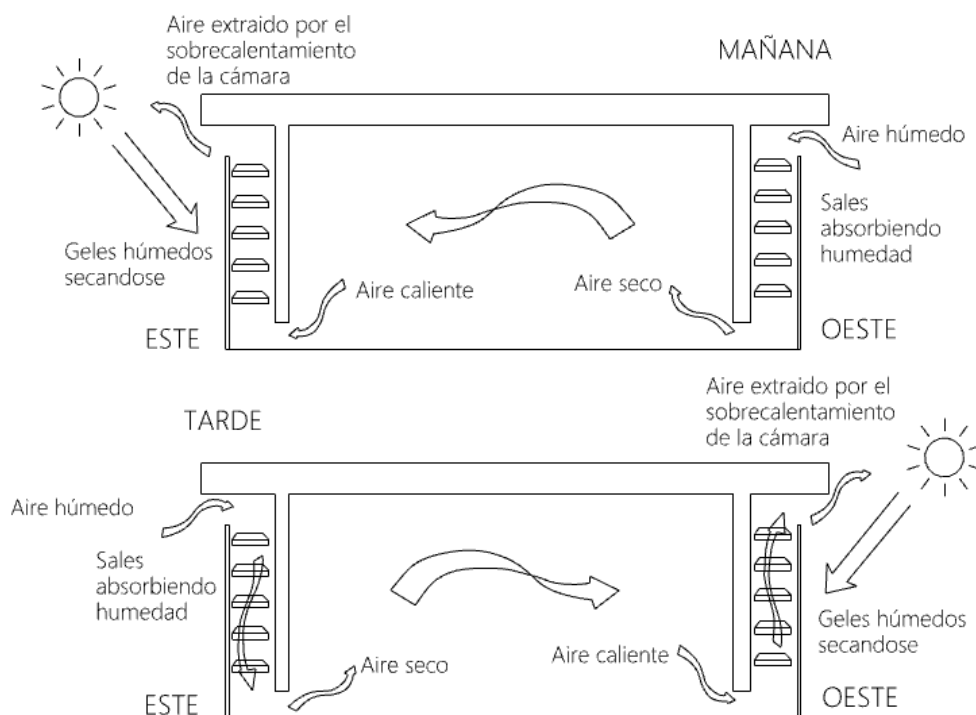
Neila en su libro introduce el concepto de "temperatura efectiva" o "sensación térmica" explicando que no solo depende de la temperatura del ambiente sino también tiene influencia los factores como el de la humedad, la velocidad del aire, la radiación y la actividad humana. Para mejorar esta "percepción" en verano propone lo siguiente:

- **Reducción de la humedad relativa:**

Esto se debe a que cuanto menos humedad haya en el ambiente favorece la evapotranspiración natural de la piel, ayudando a disipar el calor.

- **Incremento de la velocidad del aire:**

La ventilación natural hace que el aire del ambiente sea acelerado pudiendo generar una sensación térmica del individuo de frescor (efecto "refresco" similar al que produce el movimiento de un ventilador)



Sistema de deshumedecimiento del aire mediante geles absorbentes. Un posterior calentamiento solar permite que las sales recuperen su estado original.

Figura 28: Sistemas de deshumedecimiento (Elaboración propia a partir de ilustración de Arquitectura bioclimática (Neila Gonzalez, 2004) página 304)

Ventilación natural como estrategia integrada:

La ventilación es imprescindible para eliminar el aire sobrecalentado del ambiente y reducir la sensación de calor del individuo. Las soluciones de para obtener esto son las siguientes:

- **Ventilación directa (Renovación del aire):**

Para tener una buena ventilación directa, una solución es aprovechar las diferencias de presión entre el interior y exterior para renovar la masa de aire mediante la apertura de los huecos del edificio. En verano, la salida del aire caliente se suele producir por debajo de la línea neutra y la entrada por encima.

- **Efecto del viento sobre el edificio:**

Cuando el viento índice directamente sobre una fachada se genera una sobrepresión mientras que en las laterales se producen depresiones que pueden ser utilizadas para canalizar el flujo del aire. Esta diferencia puede ser explotada en el diseño de la vivienda para establecer flujos de ventilación cruzada que extraigan el calor acumulado.

La ventilación natural ya sea mediante técnicas de ventilación directa, cruzada o usando chimeneas solares u otros refuerzos pasivos, permiten tanto sustituir el aire interior como mover el aire para favorecer la evaporación y la disipación del calor.

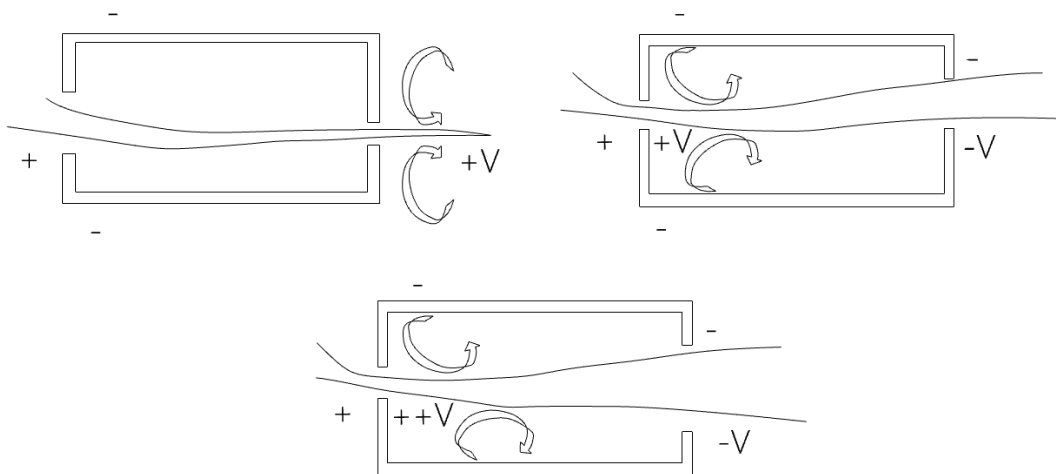


Figura 29: Influencia del tamaño del hueco en la velocidad del aire (Elaboración propia a partir de ilustración de Arquitectura bioclimática (Neila Gonzalez, 2004) página 311)

Actuaciones directas de enfriamiento:

Aunque las posibilidades de refrigeración pasiva son limitadas, existen estrategias complementarias que, aplicadas junto con las anteriores, pueden generar espacios en la vivienda que sean realmente confortables, estas son las siguientes:

- **Enfriamiento evaporativo:**

Este principio se basa en la utilización de la energía sensible del aire para evaporar el agua, lo que reduce la temperatura sin alterar la energía total del ambiente. Un ejemplo sería un botijo, el cual mantiene una temperatura reducida del agua mediante la evaporación.

- **Otras estrategias de enfriamiento pasivo:**

Una opción adicional sería el enfriamiento radiante, a través de elementos como techos o fachadas "frías" que emitan menos calor. El enfriamiento conductivo y convectivo mediante el uso de estas superficies "frías", conductos enterrados o incluso la ventilación nocturna también puede ayudar a renovar el aire del interior aprovechando también las horas más frescas.

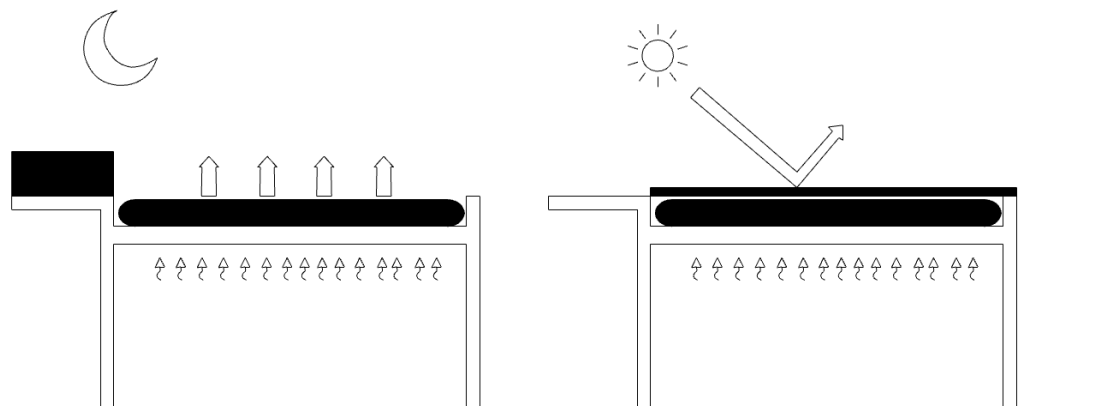


Figura 30: Cubiertas húmedas como sistema de enfriamiento por radiación nocturna (Elaboración propia a partir de ilustración de Arquitectura bioclimática (Neila Gonzalez, 2004) página 324)

Como se ha podido observar, el sol, ya sea para protegerse en verano o para aprovecharlo en invierno, resulta muy importante a la hora de diseñar. Este diagrama solar (Figura 31) representa la zona de estudio de este TFG, más concretamente la zona de El Retiro en Madrid y revela una buena exposición solar durante todo el año.

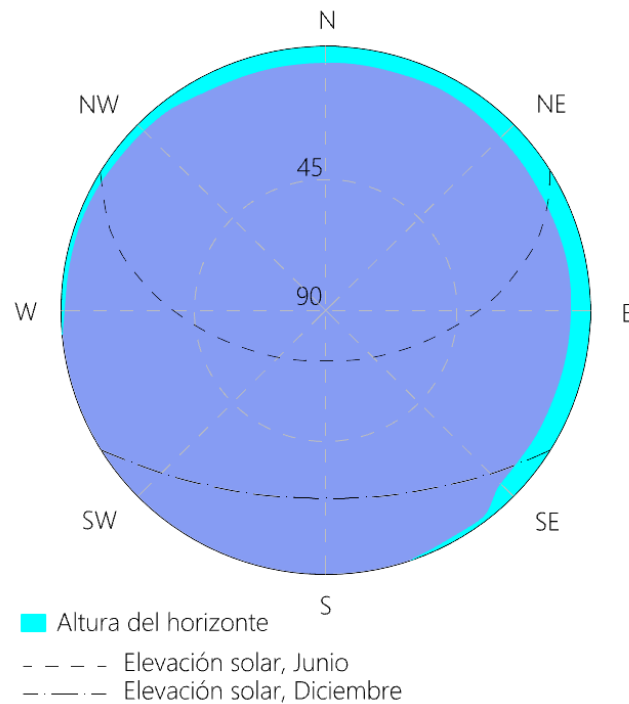


Figura 31: Perfil del Horizonte de Madrid-Retiro (Elaboración propia a partir de photovoltaic geographical information system (PGIS))

El cielo está mayormente despejado, especialmente en las orientaciones sur, suroeste y oeste. Las curvas solares correspondientes a los solsticios de junio y diciembre (las líneas discontinuas) permiten identificar los recorridos extremos del sol y su relación con las obstrucciones del entorno. Se puede observar una ligera obstrucción del horizonte en el sector noreste y sureste lo que limita la entrada de radiación solar en las primeras horas del día, particularmente en invierno. Esta pérdida de insolación matutina puede afectar a la captación solar en fachadas orientadas hacia el este y sureste. Por otro lado, el recorrido solar de verano presenta una elevada altura solar, visible en casi todas las direcciones. Esto indica una fuerte ganancia térmica si no se incorporan estrategias de protección solar como aleros o lamas horizontales (soluciones vistas en las páginas anteriores). El recorrido de invierno, más bajo, se mantiene parcialmente visible en la zona sur, permitiendo la entrada de radiación directa en las horas centrales del día, lo cual es favorable para estrategias de calefacción pasiva.

Este breve estudio permite orientar adecuadamente los espacios interiores para optimizar el confort térmico y reducir la demanda energética mediante estrategias pasivas adaptadas al contexto urbano real como anima Neila.

Para terminar, todo lo que se ha visto en este capítulo son datos que conviene tener en cuenta a la hora de diseñar estas viviendas autosuficientes, pero el objetivo de este TFG sigue siendo la calculadora Excel de los mínimos. Se ha desarrollado de forma resumida el clima mediterráneo para comprender cómo enfrentarlo en un caso específico barajando diversas soluciones.

Como se mencionaba al principio del capítulo, el clima es un factor clave a la hora de crear viviendas autosuficientes, y por eso se le ha dedicado un capítulo específico. Sin embargo, no se trata de extraer números concretos para establecer mínimos sino de tener en consideración una base que permita diseñar de forma más eficiente e inteligente, haciendo que el clima juegue a favor y no en contra.

04

Producción y
gestión de recursos

Producción alimentaria autosuficiente

La autosuficiencia alimentaria se plantea como una alternativa valiosa en un contexto en el que las sociedades están cada vez más desconectadas de los procesos que sustentan la vida cotidiana. No se trata únicamente de cultivar los propios alimentos, sino de recuperar una relación directa y consciente con la tierra. Este capítulo analiza las estrategias necesarias para alcanzar una producción alimentaria autosuficiente, partiendo del reconocimiento del suelo como un ecosistema vivo y fundamental e incorporando prácticas integradas que reproducen los ciclos naturales.

Inspirado por figuras como John Seymour con su libro *The Complete Book of Self-Sufficiency* (Seymour, *The Complete Book of Self-Sufficiency*, 1976), (mencionado en la introducción de este TFG) quien defendía un modelo de agricultura intensiva pero sostenible basado en el equilibrio entre plantas, animales y suelo, se analizará cómo adaptar estas ideas a escalas más reducidas, donde el espacio es limitado pero la intención sigue siendo la misma.

John Seymour afirma en su libro lo siguiente:

"La única manera en que el autosuficiente puede cultivar su terreno de la mejor forma e intensivamente posible es instaurar alguna variante de lo que en Europa, en el siglo pasado, se conocía como 'High Farming'. Este consistía en un equilibrio cuidadosamente diseñado entre animales y plantas, de manera que cada uno alimentara al otro: las plantas alimentaban directamente a los animales, los animales nutrían el suelo con su estiércol, y la tierra alimentaba a las plantas. Una variedad de animales y cultivos rotaban por la misma tierra, de forma que cada especie tomaba lo que necesitaba y devolvía lo que tenía para ofrecer, manteniendo siempre las necesidades del suelo como prioridad en la mente del agricultor. Cada animal y cada cultivo se consideraban según el efecto beneficioso que pudieran tener sobre la tierra." (The Complete Book of Self-Sufficiency, 1976, pág. 10)

Su libro es muy interesante, ya que no solo aborda aspectos agrícolas, sino que incluso incluye recetas de lo que se puede cocinar con lo cosechado en el huerto. Sin embargo, todo lo plantea desde un punto de vista con muchos metros cuadrados disponibles, lo que él denomina una "finca de un acre" (1 Acre Holding), algo difícil de replicar en espacios reducidos o contextos urbanos. Por lo que, aunque lo que dice Seymour de buscar una armonía entre los animales y las cosechas tiene mucho sentido y sería lo óptimo, no se va a enfocar de esa forma en este trabajo.



Figura 32: "Finca de un acre" (1 Acre Holding) (The Complete Book of Self-Sufficiency, 1976, págs. 20-21) (Ilustración tomada de internet)

Para desarrollar este capítulo de manera más eficiente, se va a abordar con mayor profundidad el diseño de un sistema de producción alimentaria autosuficiente en espacios más limitados. Para ello se ha recurrido a una serie de publicaciones clave que tratan la horticultura doméstica desde diversas perspectivas. Se pueden destacar tres libros cuyos contenidos están repletos de información de alta utilidad práctica y claridad metodológica para este estudio. Los libros son los siguientes: *El huerto en 1 metro cuadrado*¹⁹ de Mel Bartholomew, *The Weekend Homesteader*²⁰ de Anna Hess y *La guía completa para una vida autosuficiente*²¹ de James Strawbridge.

Estos tres autores comparten una visión en común; el empoderamiento de los lectores para que produzcan sus propios alimentos, independientemente del tamaño del terreno del que dispongan o del nivel de experiencia previa de estos.

¹⁹ Bartholomew, M. (2013). *El huerto en 1 metro cuadrado*. BLUME.

²⁰ Hess, A. (2012). *The Weekend Homesteader*. Skyhorse Publishing.

²¹ Strawbridge, J. (2018). *La guía completa para una vida autosuficiente*. BLUME.

No obstante, cada autor tiene un enfoque distinto:

► **Mel Bartholomew – El huerto en 1 metro cuadrado** (Bartholomew, 2013)

Este libro se publicó por primera vez en los años 80 y revolucionó la jardinería urbana y doméstica al proponer un método extremadamente eficiente, claro y productivo. El método trata de dividir un pequeño espacio de cultivo, más concretamente una caja de 1.20m x 1.20m, en una cuadrícula de 9 o 16 cuadrados en los que se plantan diversas especies de plantas según el tamaño que tengan y las necesidades con sus respectivos ciclos de crecimiento.

Esta idea de Bartholomew parte de una premisa; la gran mayoría de huertos tradicionales tienden a desperdiciar espacio, agua y tiempo. Este método busca todo lo contrario; busca maximizar la producción por metro cuadrado reduciendo al mínimo el esfuerzo físico y los recursos necesarios. Además, este sistema permite rotaciones de cultivos muy fáciles de gestionar favoreciendo la biodiversidad y también puede adaptarse a cualquier clima mediante la implementación de estructuras complementarias como invernaderos pequeños o cobertores.

Este sistema de plantación resulta especialmente conveniente para este trabajo, donde se busca diseñar viviendas autosuficientes en términos alimentarios, incluso cuando la superficie disponible es extremadamente limitada. Además, este método de Bartholomew no requiere de ser empleado en exteriores, sino que con tan solo buena iluminación se puede emplear en interiores en entornos urbanos y semiurbanos.



Figura 33: Portada del libro El huerto en 1m2

► **Anna Hess – The Weekend Homesteader** (Hess, 2012)

The Weekend Homesteader (Hess, 2012) de Anna Hess está dirigido a personas interesadas en la autosuficiencia sin renunciar a la vida urbana o profesional. El libro está organizado en tareas mensuales distribuidas a lo largo del año, permitiendo al lector a abordar el aprendizaje de forma progresiva y asumible; incluso para quienes disponen de tiempo limitado, como algunas horas los fines de semana.

Hess trata varios temas como el cultivo de alimentos básicos, la instalación de sistemas de captación de agua de la lluvia, la elaboración de conservas, el compostaje, la cría de gallinas y mejoras energéticas en el hogar. Es un libro muy didáctico que lo convierte en un libro perfecto para quienes quieren iniciarse en un estilo de vida autosuficiente. Aunque el enfoque es más amplio que el libro de Bartholomew, no es tan específico en cuanto al aprovechamiento máximo del espacio. En definitiva, es un libro que ofrece una gran cantidad de consejos muy útiles sobre como integrar diferentes actividades de autosuficiencia en la rutina diaria sin necesidad de hacer una transformación radical en las vidas de las personas.

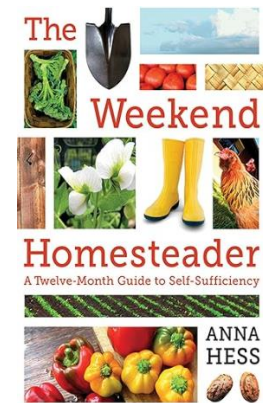


Figura 34: Portada del libro The weekend Homesteader

► James Strawbridge – La guía completa para una vida autosuficiente (Strawbridge, 2018)

Este libro a diferencia de los otros nombrados, dispone de un carácter más enciclopédico en cierto modo y más visual. Se presenta como una guía integral para llevar una vida autosuficiente. El libro incluye una gran cantidad de ilustraciones, planos y consejos útiles sobre una gran cantidad de temas como; la horticultura, apicultura, cría de animales, producción de energías renovables, reciclaje, construcción natural y conservación de alimentos.

Strawbridge aboga por una autosuficiencia holística que mezcla los conocimientos tradicionales con soluciones tecnológicas actuales. Si bien una gran cantidad de sus propuestas requieren una mayor cantidad de espacio y recursos, su visión a largo plazo y sus estrategias de diversificación resultan muy inspiradoras para la creación de ecosistemas domésticos sostenibles.



Figura 35: Portada del libro La guía completa para una vida autosuficiente

De los tres libros nombrados, para este capítulo, el que mejor se adapta es *El huerto en 1 metro cuadrado* (Bartholomew, 2013). Su propuesta parte del desafío de cultivar en espacios muy reducidos, similar al reto que supone diseñar una vivienda autosuficiente en el contexto urbano. A diferencia de otros métodos que requieren de una cantidad de espacio más amplio, el método de Bartholomew demuestra que con una planificación adecuada es posible producir una gran cantidad significativa de alimentos con recursos mínimos, lo que encaja perfectamente con la filosofía de este proyecto.

Para entender mejor el método de Bartholomew se han propuesto la siguiente ilustración:

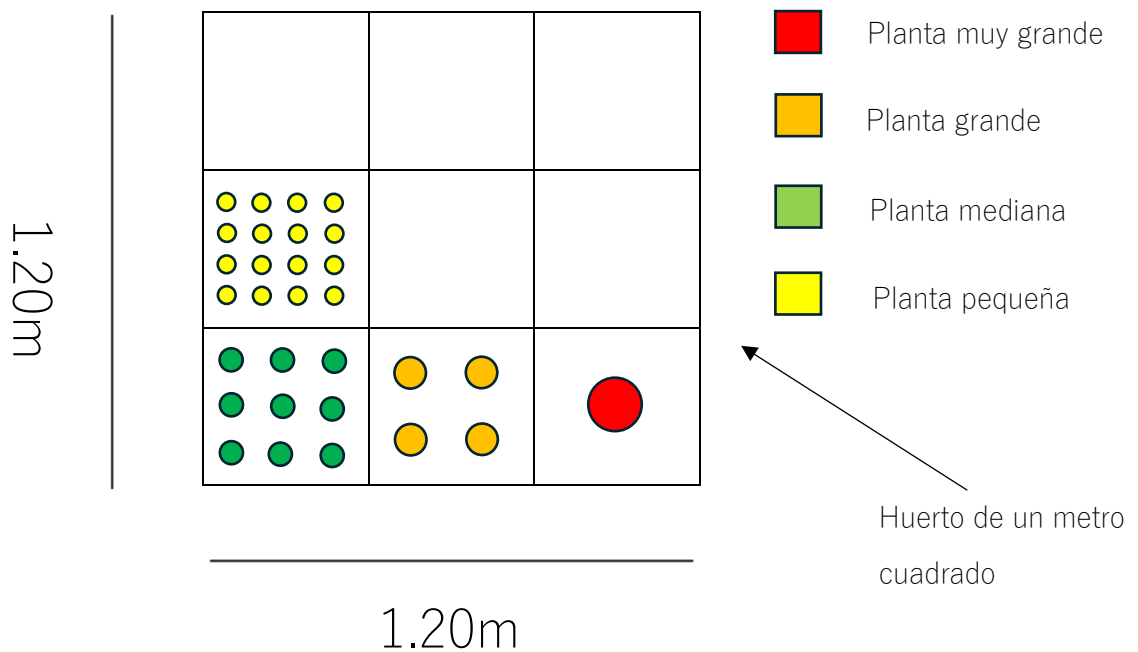


Figura 36: Esquema de la división del huerto de un metro cuadrado (Elaboración propia)

Con esta ilustración (Figura 36) se puede observar cómo se organizarían las hortalizas que se planten según el tamaño de estas. Las hortalizas no tienen por qué seguir el mismo patrón de la imagen para ser plantadas y cada individuo podrá plantar lo que más le guste de la forma en la que le más le convenga.

Una vez visto la organización del huerto; se va a ver de forma visual lo que ocuparía cada hortaliza en su respectivo cuadrado. Para ello se ha facilitado las siguientes ilustraciones:






























| | | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|---|
| |  |  |  |  |  |  |
| | Acelga | Ajos | Albahaca | Apio | Berenjena | Brócoli |
| 30 cms | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ | ○ |
| |  |  |  |  |  |  |
| | Canónigos | Cebolla | Cebollino | Col Rizada | Lombarda | Coliflor |
| 30 cms | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ | ○ | ○ |
| |  |  |  |  |  |  |
| | Endibia | Escarola | Espinaca | Guisantes | Habas | Judías verdes |
| 30 cms | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ |
| |  |  |  |  |  |  |
| | Lechuga | Nabo | Pepino | Pak Choi | Perejil | Pimiento |
| 30 cms | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ | ○ ○ ○ ○ | ○ | ○ |
| |  |  |  |  |  | |
| | Puerro | Rábano | Remolacha | Tomate | Zanahoria | |
| 30 cms | ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | ○ | ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ | |

Figura 37: Espacio necesario por planta (Elaboración propia)

Adoptar este sistema de Bartholomew no solo permite optimizar el espacio, sino también desarrollar una relación más directa y constante con los ciclos de la naturaleza. Este enfoque modular, replicable y accesible representa una herramienta clave para integrar la producción de alimentos dentro del diseño arquitectónico de viviendas mínimas.

Este sistema resulta muy interesante y efectivo para personas con poco espacio disponible en su hogar. Su método permite aprovechar al máximo cada centímetro cuadrado del suelo, haciendo que sea más sencillo la planificación y el mantenimiento del huerto. Sin embargo, la agricultura, también ha evolucionado notoriamente y hoy en día existe un sistema aún más eficiente y moderno. Este sistema se llama Hidroponía y permite cultivar alimentos sin la necesidad del uso de la tierra.

La hidroponía es una técnica de cultivo en la que no requiere de un suelo ya que las raíces de las plantas se alimentan directamente de una solución rica en nutrientes disueltos en agua. Esto permite optimizar el uso del agua y acelerar el cultivo de las plantas en un espacio mucho más reducido (es aplicable incluso en espacios interiores). Además, al eliminar la tierra, se minimiza la aparición de las plagas indeseadas del suelo y se puede controlar mucho mejor el entorno de crecimiento.

Los libros que mejor tratan el tema de la hidroponía son los siguientes:

► Resh, Howard M. – *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook*²²

Este libro es una guía técnica, muy detallada y completa sobre la producción hidropónica. Está orientado a personas que desean llevar esta técnica a un nivel profesional, donde se requieren de instalaciones con una superficie mayor, y a la que la mayoría de las personas no tienen a mano.

Aborda en detalle los tipos de cultivos, los nutrientes, el control de enfermedades y la configuración de los sistemas más complejos. Es sin duda un libro magnífico para aquellos que quieran empezar a emplear la hidroponía en huertos de gran tamaño.

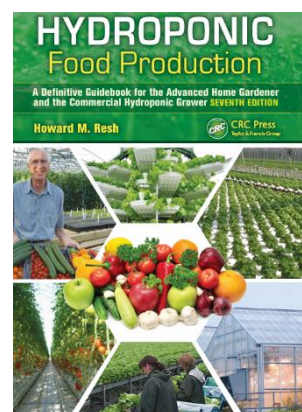


Figura 38: Portada del libro Hydroponic Food Production

²² Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook*. CRC Press.

► Baras, Tyler – *DIY Hydroponic Gardens*²³

A diferencia del libro anterior, este libro se centra en sistemas de hidroponía caseros, fáciles de construir y mantener. Estos sistemas son ideales para aquellas personas que buscan cultivar en espacios más reducidos como balcones o interiores. Ofrece guías paso a paso para montar diferentes tipos de jardines hidropónicos con materiales accesibles y un enfoque práctico y para todo el mundo.

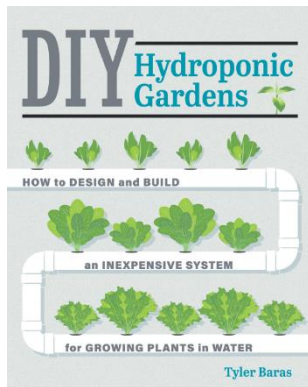


Figura 39: Portada del libro
DIY Hydroponic Gardens

Dado que este trabajo se centra en explorar soluciones autosuficientes en espacios mínimos, se basará principalmente en el enfoque de Tyler Baras. En particular, y más concretamente en la hidroponía vertical, que permite aprovechar la altura del espacio disponible, multiplicando la producción en superficies reducidas.



Figura 40: Foto de un cultivo hidropónico vertical (Imagen tomada del libro de Baras (Baras, 2018, pág. 118))

²³ Baras, T. (2018). *DIY Hydroponic Gardens*. Quarto Publishing Group USA

Al optar por un sistema de cultivo vertical (como en este caso), es de gran importancia tener en cuenta ciertas limitaciones ya que este tipo de huertos no es la mejor opción para todas las plantas; especialmente aquellas que crecen mucho en altura o que desarrollan frutos pesados, como los tomates, las berenjenas o los pimientos, ya que podrían no tener la sujeción estructural necesaria.

Sin embargo, los sistemas hidropónicos verticales funcionan de forma mucho más eficiente con especies ligeras como las plantas de hoja (lechugas, espinacas), hierbas culinarias (albahaca, perejil) o frutos pequeños como las fresas. En este caso sería mucho más eficiente que un cultivo tradicional ya que las plantas también crecen más rápido.

Actualmente, se están empezando a comercializar kits hidropónicos prefabricados al alcance de todo el mundo y listos para que sean instalados en los hogares. Esto facilita más aún el acceso a este tipo de tecnología. Un ejemplo destacable es la empresa *APR Green Home*²⁴ con su modelo NTree, el cual emplea un sistema de canales tipo NFT (Nutrient Film Technique) en vertical, ideal para entornos urbanos.

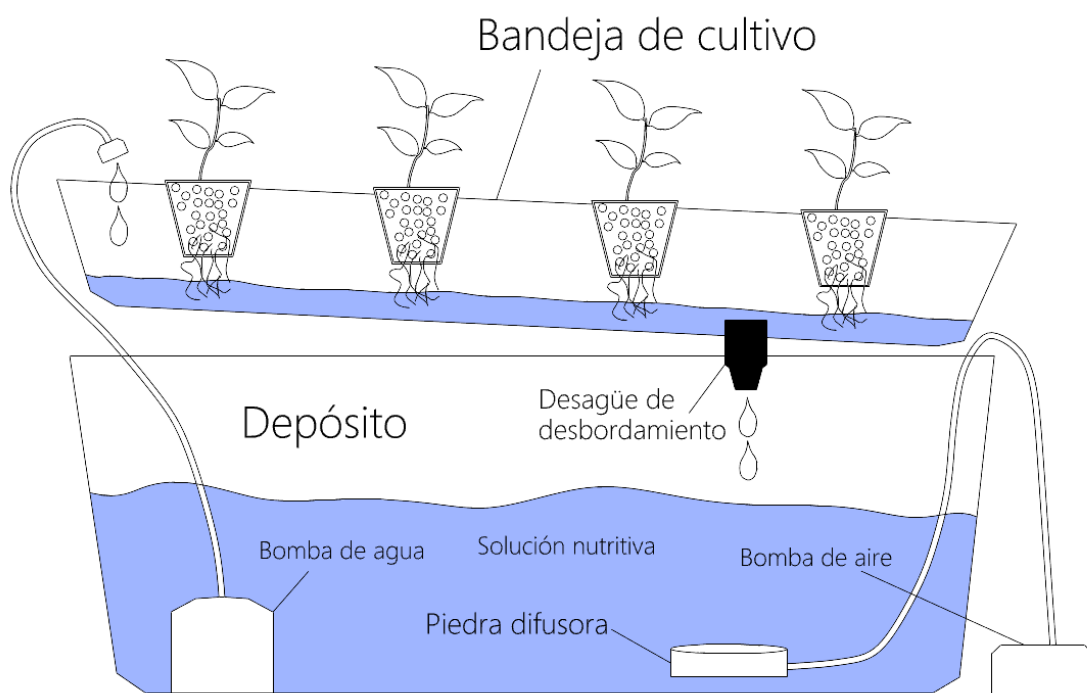


Figura 41: Ilustración explicativa del sistema NFT (Elaboración propia)

²⁴ *APR Green Home*. (n.d.). Retrieved from <https://aprgreenhome.com/>

El NFTree permite cultivar hasta 36 plántulas simultáneamente, incluyendo todo tipo de “leafy greens” (como lechuga, espinaca, pak choi, bimi o kale), plantas aromáticas e incluso fresas, tomates cherry o chiles. Tiene un diseño vertical de 150 cm de altura, con un tronco de 15 cm de diámetro y una base total de 40 cm, lo que permite instalarlo en balcones, patios, cocinas o terrazas sin requerir apenas superficie. Este tipo de soluciones demuestran que es posible cultivar una cantidad significativa de alimentos en espacios extremadamente reducidos, reforzando el potencial real de la autosuficiencia urbana a pequeña escala.



Figura 42: Imagen de NFTree (Imagen tomada de la web de APR Green Home)

En el contexto de una vivienda autosuficiente de tamaño reducido, resulta clave considerar no solo la producción vegetal, sino también la posibilidad de obtener proteínas animales de forma eficiente. Existen determinadas especies que, gracias a su tamaño, su capacidad de reproducción y su facilidad de mantenimiento, se presentan como candidatas idóneas para la cría doméstica (para el consumo humano). A continuación, se desarrollan las especies más destacadas:

El conejo

Los conejos domésticos (*Oryctolagus cuniculus*) requieren de aproximadamente 0.5m² por ejemplar adulto si se alojan en jaulas o módulos verticales y son extremadamente prolíficos. Una sola hembra puede tener entre 6 y 12 crías por camada, y producir hasta 40 crías al año. La carne del conejo es magra, y muy nutritiva. Su alimentación es sencilla y de bajo coste, basada en restos de huerta, heno, hojas verdes y forrajes como la alfalfa. No necesitan pienso industrial para desarrollarse

correctamente, lo que los convierte en una opción ideal dentro de un sistema autosuficiente y silenciosa para espacios urbanos o semiurbanos. Toda esta información se ha sacado del libro *El horticultor autosuficiente y la vida en el campo*²⁵ en donde se puede encontrar más detalladamente las instrucciones de como criar a estos animales.

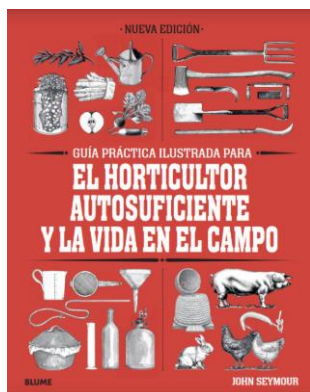


Figura 43: Imagen del libro *El horticultor autosuficiente y la vida en el campo*

La gallina ponedora

Las gallinas (*Gallus gallus domesticus*) han sido a lo largo de la historia una de las principales fuentes de proteína animal accesible y sostenible. Una gallina ponedora suele reproducir entre 250 y 300 huevos al año; todo esto si la gallina recibe una alimentación equilibrada y dispone de condiciones de vida adecuadas. Además, una vez superado su ciclo productivo, también puede utilizarse como fuente de carne. Una gallina requiere de aproximadamente 1 m² (un poco más que los conejos), pudiendo reducirse si el sistema incorpora un gallinero móvil o si se alterna con áreas de pasto o jardín. Las gallinas también pueden alimentarse (parcialmente) de restos orgánicos del hogar, reduciendo así la cantidad de residuos; y aportan estiércol rico en nitrógeno, ideal para compostaje y mejora del suelo. Su integración con el huerto es muy beneficiosa, ya que también controlan insectos y larvas manteniendo a raya las posibles plagas.

Todo esto queda muy bien explicado el libro *The Backyard Homestead*²⁶.

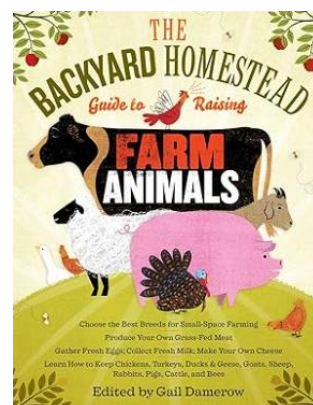


Figura 44: Imagen del libro *The Backyard Homestead*

²⁵ Seymour, J. (2024). *GPI el horticultor autosuficiente y la vida en el campo*. BLUME.

²⁶ Damerow, G. (2011). *The Backyard Homestead Guide to Raising Farm Animals*. Storey Publishing.

Cobayas

Las cobayas o cuyes (*Cavia porcellus*) son muy populares en países de Sudamérica como Perú, Bolivia o Ecuador y están siendo estudiadas como una fuente alternativa de proteína animal en contextos urbanos y autosuficientes. Las cobayas son animales muy tranquilos, silenciosos y extremadamente prolíficos como los conejos; son capaces de alcanzar la madurez sexual a los 2-3 meses y estos pueden tener hasta cinco crías por parto. Además, requieren de tan solo 0.3 m² por ejemplar y pueden vivir en instalaciones modulares horizontales o verticales. Al igual que los conejos, las cobayas se alimentan principalmente de vegetales, raíces, heno y residuos del huerto. En términos nutricionales, su carne es magra, de fácil digestión y muy rica en proteínas, siendo considerada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) como una alternativa viable para contextos de seguridad alimentaria. (Chauca de Zaldívar, 1997)

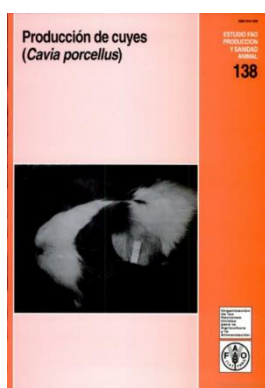


Figura 45: Portada del estudio de las cobayas de la FAO

Patos

Los patos corredores indios (Indian Runner Ducks) son una variedad de pato doméstico que se caracteriza por andar erguidos, su gran actividad y su excelente capacidad para poner huevos. Esta especie de patos pueden poner entre 150 y 200 huevos al año y con un valor nutricional más alto que el huevo de gallina ya que contienen un mayor contenido en omega-3 y proteínas. Además de ser más resistentes a enfermedades que las gallinas y a condiciones climáticas adversas también destacan por su eficiente estrategia de búsqueda y aprovechamiento del alimento.

Estos patos pueden vivir en libertad o semi-libertad y alimentarse de babosas, insectos y pequeños invertebrados del huerto, ayudando al control biológico sin pesticidas. Al igual que las gallinas estos requieren en torno a 1 m² por ejemplar, pero preferiblemente con acceso a una pequeña zona de agua para nadar por lo que no son muy recomendables en casas pequeñas. Todo esto queda muy

bien explicado y más detalladamente en el libro de Dave Holderread *Storey's Guide to Raising Ducks*²⁷.

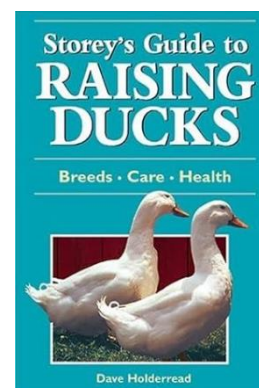


Figura 46: Imagen del libro
Guide to raising ducks

Peces en sistemas acuapónicos

La acuaponía trata la combinación de la cría de peces con el cultivo de vegetales en un sistema cerrado y recirculante de agua. El amoníaco generado por los peces (como la tilapia o el bagre) es transformado por bacterias beneficiosas en nitratos que fertilizan las plantas. A cambio, las raíces vegetales purifican el agua para los peces. Esta simbiosis permite una producción altamente eficiente tanto de proteína animal como de vegetales en espacios reducidos, como terrazas, patios o incluso interiores bien iluminados. La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es especialmente recomendada por su rápido crecimiento y resistencia, aunque requiere calefacción en invierno. El bagre (*Ictalurus punctatus*) es otra opción viable en climas templados. Estos sistemas, aunque más técnicos, ofrecen una solución avanzada para la autosuficiencia. En el artículo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)²⁸ se puede extraer información más detallada de este tipo de cría de peces y plantas.

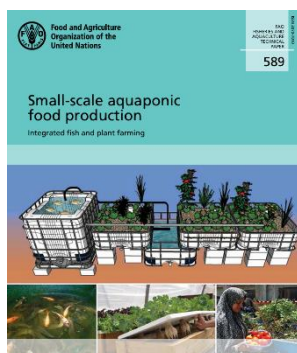


Figura 47: Imagen del artículo
de la FAO sobre la acuaponía

²⁷ Holderread, D. (2000). *Storey's Guide to Raising Ducks*. Storey Publishing.

²⁸ Somerville, C. C. (2014). Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming. Retrieved from FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: <https://openknowledge.fao.org/items/e4d11efd-d97a-4959-8ae2-8b7d3fd32c5e>

Simple aquaponic unit

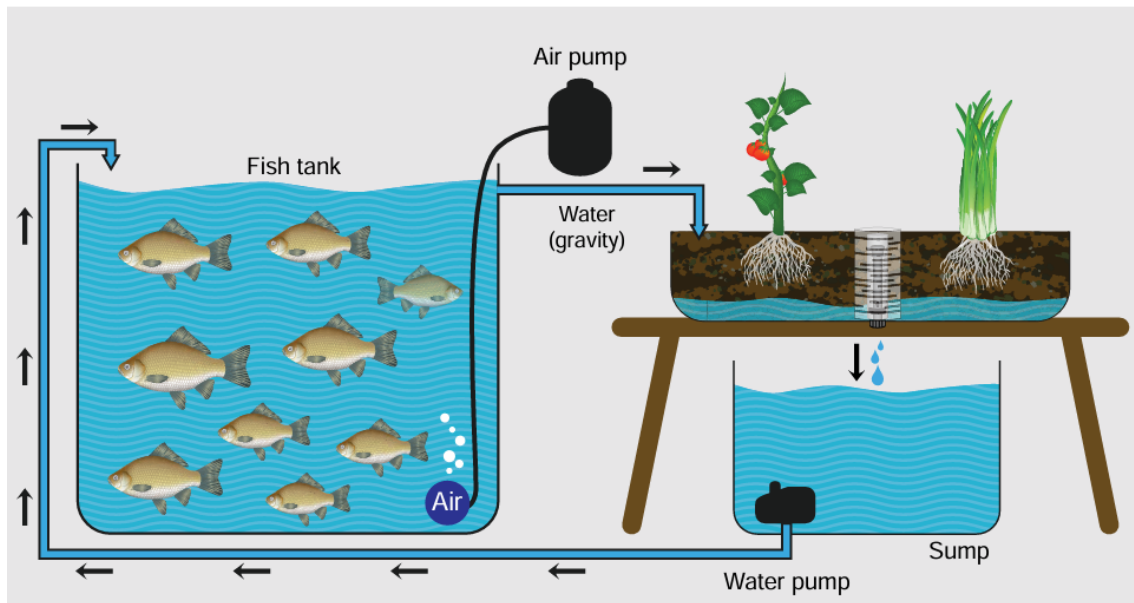


Figura 48: Ilustración explicativa de la acuaponía (Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming, 2014, pág. 250)

Estas especies no son solo compatibles con una vida autosuficiente, sino que además se integran con facilidad en diseños de vivienda mínima donde el espacio y los recursos están cuidadosamente optimizados. Concluyendo este apartado de la crianza animal, se puede ver la siguiente tabla (Figura 49) para ver de manera más comprensible lo que supondría cada animal en cuanto espacio y su producción.

| Animal | Espacio por unidad | Reproducción | Productos | Ideal para... |
|---------|------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| Conejo | 0.5 m ² | Muy alta | Carne | Huertos, terrazas |
| Gallina | 1 m ² | Media | Huevos + carne | Patios |
| Cobaya | 0.3 m ² | Alta | Carne | Interiores, huertos |
| Pato | 1 m ² | Media | Huevos + carne | Patios con agua |
| Pez | Tanque vertical 30L x Pez | Controlada | Carne + fertiliz. | Interiores, acuaponía |

Figura 49: Tabla resumen de cada animal (Elaboración propia)

Generación de energía

Cuando se habla de una vivienda autosuficiente a una escala reducida, la generación de la energía debe ser altamente eficiente. Sobre todo, que sea compatible con la vivienda (arquitectura compacta) ya que no solo se trata de diseñar un sistema completo que permita minimizar las pérdidas al máximo, sino que también aproveche al máximo los recursos disponibles garantizando una autonomía aceptable incluso en situaciones críticas.

► Energía solar fotovoltaica

Hoy en día una de las soluciones más viables para una vivienda mínima es la energía solar fotovoltaica. Esto se debe a su modularidad y facilidad a la hora de ser instalados. Un sistema fotovoltaico a una escala reducida de entre 1 y 3 kWp puede llegar a cubrir gran parte de las necesidades energéticas de una vivienda eficiente; especialmente si además se utilizan sistemas que hagan que se reduzca el consumo.

Los paneles solares actuales tienen una eficiencia general del 12% y el 25%, lo que supone una producción aproximada de entre 120 y 250 W/m² (todo esto en función del panel solar y su eficiencia). En Madrid según los datos de Cambio Energético²⁹ se dispone una media de 1.560 horas solares pico (HSP) al año haciendo que un panel solar pueda generar aproximadamente 2.723 kWh/m²/año.

Para tener una idea de lo que ocuparía un sistema típico de 3.5kWp; un panel estándar ocupa 2m² que producen 350 W cada uno (hay de diferentes W), haciendo que se requieran un total de 10 paneles sumando un total de 20m² de superficie en el tejado.

| Provincia | HSP | kWh/año |
|-----------|-------|---------|
| A Coruña | 1.170 | 2.047 |
| Barcelona | 1.370 | 2.447 |
| Madrid | 1.560 | 2.723 |
| Cáceres | 1.680 | 2.698 |
| Cádiz | 1.670 | 2.773 |
| Granada | 1.670 | 2.831 |
| Almería | 1.710 | 3.052 |

Figura 50: Tabla de HSP según provincia (Ilustración tomada de la web oficial de Cambio Energético)

²⁹ Cambio Energético. (n.d.). Retrieved from <https://www.cambioenergetico.com/blog/cuantas-placas-solares-se-necesitan-para-vivienda/>

► Energía solar térmica

La energía solar térmica a diferencia de la solar fotovoltaica, como bien indica su nombre, no genera electricidad, sino que son paneles que tienen la capacidad de calentar el agua. Este sistema de paneles es especialmente utilizado para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en las viviendas. Viendo el estudio de Miguel Ángel Lozano Serrano³⁰ se puede observar que en España se registran valores que oscilan entre 1500 y 1800 kWh/m²/año. Los paneles que se utilizan comúnmente en las viviendas suelen tener una eficiencia promedio del 50% al 70% (mayor a los paneles fotovoltaicos). Esta eficiencia dependerá también de los factores como la calidad del equipo, la orientación, la inclinación y las condiciones climáticas. Esto significa que, en condiciones óptimas, un metro cuadrado puede generar entre 750 y 1200 kWh térmicos al año.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)³¹, el consumo promedio de ACS en una vivienda unifamiliar es de 30 litros por persona al día a una temperatura de 60 ° C. Esto equivale a aproximadamente 573 kWh térmicos al año por persona. A todo esto, se recomienda una capacidad de almacenamiento de 80L por metro cuadrado de colector instalado para que no haya escasez de agua caliente incluso en periodos de baja radiación solar.

Por último, la normativa española también exige unos mínimos en cuanto a la contribución solar en los edificios de nueva planta. Aunque lo que se va a calcular en este trabajo es lo mínimo que se requiere para que una vivienda no dependa de recursos externos y por ende no va a ser necesario el uso de esta normativa, resulta pertinente mencionarla. El Código Técnico de la Edificación (CTE), en su Documento Básico HE 4³², establece la obligación de incorporar sistemas de captación solar para la producción de ACS en edificios de nueva construcción o en reformas importantes. La contribución solar mínima varía según la zona climática y el tipo de energía de apoyo, oscilando entre el 30% y el 70% de la demanda total de ACS.

³⁰ Lozano Serrano, M. Á. (2019). COLECTORES SOLARES TÉRMICOS. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/338254329_COLECTORES_SOLARES_TERMICOS

³¹ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía . (n.d.). Retrieved from <https://www.idae.es/>

³² Código Técnico. (n.d.). Retrieved from DB HE 4: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>

Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática | | | | |
|--|----------------|----|-----|----|----|
| | I | II | III | IV | V |
| 50-5.000 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |
| 5.000-6.000 | 30 | 30 | 55 | 65 | 70 |
| 6.000-7.000 | 30 | 35 | 61 | 70 | 70 |
| 7.000-8.000 | 30 | 45 | 63 | 70 | 70 |
| 8.000-9.000 | 30 | 52 | 65 | 70 | 70 |
| 9.000-10.000 | 30 | 55 | 70 | 70 | 70 |
| 10.000-12.500 | 30 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| 12.500-15.000 | 30 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 15.000-17.500 | 35 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 17.500-20.000 | 45 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 20.000 | 52 | 70 | 70 | 70 | 70 |

Figura 51: Tabla del CTE DB HS4

► Pequeña energía eólica³³

Una solución un poco diferente a lo convencional es la microenergía eólica. Esta opción puede ser una solución complementaria a la energía solar, sobre todo en entornos rurales o abiertos donde el régimen del viento es favorable. La principal ventaja de este sistema es la capacidad de generar electricidad en las horas nocturnas o en días nublados, cuando la energía solar disminuye. En cuanto a la potencia que genera una microturbina eólica depende principalmente de varios factores como la velocidad del viento que es el más determinante. Una cosa importante a tener en cuenta de las turbinas eólicas es que no pueden aprovechar toda la energía generada debido a un fenómeno llamado límite de Betz. Este límite creado por el físico Albert Betz establece un límite de la energía extraíble de las turbinas eólicas de un 59.3%. Y las microturbinas suelen alcanzar entre un 30% y un 45% respecto de este límite.

La fórmula para calcular la potencia por metro cuadrado (w/m^2) es la siguiente:

$$W = (1/2) \rho A v^3$$

Donde ρ es la densidad del aire (aproximadamente $1,225 \text{ kg/m}^3$ al nivel del mar) y v la velocidad del aire en m/s y A el área de barrido de la turbina. Por ejemplo, con una velocidad de viento de 8 m/s la potencia disponible sería la siguiente; aplicando una eficiencia del 40% y un área de 3 m^2 , la potencia útil sería aproximadamente 125 W/m^2 .

$$W = 0,5 \times 1,225 \times 3 \times 512 \approx 313,6 \text{ W/m}^2 ;$$

$$\text{Potencia útil} \approx 313,6 \times 0,4 \approx 125 \text{ W/m}^2$$

³³ Aerogenerador. (2025). Retrieved from Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador?utm_source

A diferencia de los paneles solares la implementación de microturbinas para una vivienda autosuficiente requiere de unas cuantas consideraciones más para su implementación. Al igual que los paneles solares, se deberá de hacer un estudio previo (en este caso del recurso eólico) y hacer un correcto análisis del régimen del viento local para determinar la viabilidad de instalar una microturbina. La ubicación de la turbina deberá de instalarse en zonas despejadas y alejada de obstáculos que puedan generar turbulencias y reducir la eficiencia. Por último, se requiere elevar la turbina lo máximo posible y requieren de un mantenimiento periódico para asegurar su correcto funcionamiento.

► Sistemas híbridos

Como indica el propio nombre, se trata de la combinación de diferentes fuentes de energía renovable como la solar y la eólica. En un sistema híbrido se puede obtener una solución más estable y eficiente. Esto se debe a que, al combinar las fuentes, se elimina la intermitencia inherente de cada una, asegurando una generación de energía constante. También se pueden aprovechar más a fondo las condiciones climáticas del lugar ya que se empleará la energía solar durante el día y la eólica durante la noche cuando no hay sol.

Los componentes principales necesarios para crear un sistema híbrido son los siguientes; paneles solares fotovoltaicos, microturbina eólica, controlador de carga híbrido que es lo que gestiona la entrada de energía de ambas fuentes optimizando las cargas de las baterías, las baterías de almacenamiento donde se almacenan la energía generada para cuando la producción es insuficiente y un inversor que se encarga de convertir la corriente continua (DC) almacenadas en las baterías en corriente alterna (AC) para el consumo doméstico.

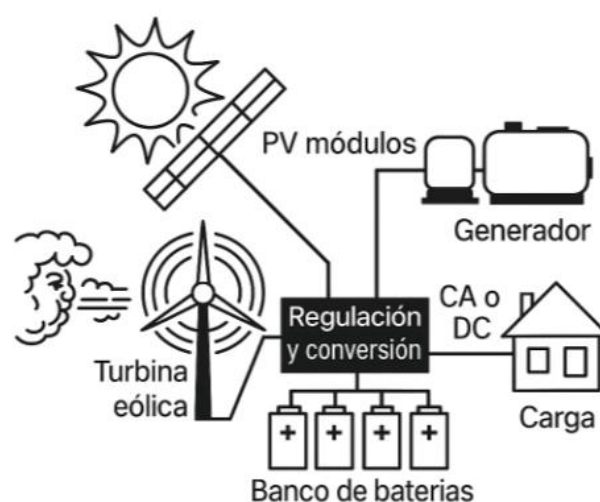


Figura 52: Ilustración representativa de un sistema híbrido (Elaboración propia)

Una vez entendido estos sistemas, hay que comprender que para una vivienda autosuficiente no es importante el hecho de generar energía sino también reducir al máximo la demanda de esta. Una vivienda bien diseñada puede llegar a reducir su necesidad energética hasta un 60%-80% respecto a una vivienda con una solución convencional (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía , s.f.).

Para diseñar una vivienda de la forma óptima posible hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

1- Diseño Bioclimático:

(Visto en Cap 3 Influencia del clima en las viviendas autosuficientes)

2-Iluminación eficiente:

Es de gran importancia el uso de la tecnología LED la cual consume hasta un 80% menos que una bombilla tradicional. También está ligado al punto nº 1 pero la orientación norte-sur reduce la necesidad de iluminación artificial durante el día hasta un 70%.

3- Electrodomésticos eficientes:

El uso de equipos con etiqueta energética A+++ puede representar ahorros de hasta 70 % en frigoríficos, 60 % en lavadoras, 50 % en lavavajillas. Según la Comisión Europea³⁴, los electrodomésticos suponen alrededor del 30 % del consumo eléctrico en una vivienda media, por lo que su impacto en una vivienda mínima es aún más relevante.

Estos 3 puntos son imprescindibles para lograr una mayor autonomía ya que facilita el equilibrio entre producción y consumo; además de mejorar la habitabilidad incluso en situaciones de fallo energético.

Otra cosa fundamental a la hora de generar energía renovable es como almacenarla. La generación de la energía renovable como se ha podido observar en los apartados anteriores, es intermitente, por lo que para garantizar una autonomía real se requiere almacenamiento. El almacenamiento en baterías y el almacenamiento térmico son esenciales.

³⁴ UE. (n.d.). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>

Las baterías eléctricas son la solución más común, más concretamente, las baterías de ion de litio como las que usa la batería de Tesla, Tesla Powerball³⁵ o la batería de LG, LG RESU³⁶. Estas baterías llegan a tener una densidad energética de hasta 250Wh/Kg con una eficiencia del 90%-95% y con una vida útil de entre 10-15 años (6000 ciclos).

A la hora de elegir las baterías siempre es recomendable de elegir una que cumpla un cierto margen para así obtener una autonomía completa nocturna, tener un respaldo de 1 o 2 días por si son nublados y una potencia de descarga instantánea suficiente por si hay algún pico. Por ejemplo, si en una vivienda hay un consumo de 3-6 kWh se recomendaría el uso de una batería entre 5 y 10 kWh. La Tesla Powerwall tiene una capacidad de 13,5 kWh y una potencia de descarga de 5 kW. Su volumen es de 0,13 m³, lo que la hace adecuada incluso para espacios reducidos.



Figura 53: Imagen de la Tesla Powerball (Imagen tomada de la página oficial)

Además del almacenamiento eléctrico, mediante el uso de las baterías, el almacenamiento térmico juega un papel esencial en viviendas autosuficientes.

En los sistemas solares térmicos, el agua caliente sanitaria (ACS) funciona como un sistema de almacenamiento energético diario. Con un depósito de entre 80 y 150 litros para una vivienda pequeña, permite el almacenamiento de la energía térmica acumulada durante el día para su uso

³⁵ Tesla. (n.d.). Retrieved from https://www.tesla.com/es_es/powerwall

³⁶ LG. (n.d.). Retrieved from <https://www.lgessbattery.com/es/home-battery/intro.lg>

por la noche o en momentos donde casi no hay radiación solar. Estos depósitos suelen tener un rendimiento medio de entre el 70% y el 80% y pueden estar unas 24 horas (si está bien aislado) perdiendo tan solo unos 3C°. Esta estrategia de almacenamiento asegura un ciclo constante de carga y descarga energética, en el que el sistema se recarga de forma automática con la energía solar disponible del día siguiente.

Ya sea para el almacenamiento eléctrico como para el térmico, es de gran importancia el uso de sistemas que gestionen la energía. Estos sistemas se llaman EMS (Energy Management Systems) y optimizan el uso de la energía disponible. Los sistemas EMS permiten controlar automáticamente cuando cargar o descargar las baterías; priorizando ciertos usos dependiendo de la disponibilidad energética, las condiciones del clima o incluso de las preferencias del usuario.

El mantenimiento de estas baterías realmente no es complicado, pero es importante seguir las pautas de las instrucciones del fabricante para evitar cualquier problema como un sobrecalentamiento excesivo, un cortocircuito o malfuncionamientos. Es de gran importancia realizar un mantenimiento periódico para garantizar no solo la seguridad sino también la longevidad del sistema a largo plazo.

| Uso | Unidad | Cantidad mínima estimada | Notas |
|--|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Electricidad total diaria (2 personas) | kWh/día | 3 – 6 kWh | Depende del consumo y eficiencia de los equipos |
| Agua caliente sanitaria | kWh térmicos/persona/año | 573 kWh/persona/año | Equivalente a ~30 litros/día a 60° C |
| Energía almacenada | kWh | 5 – 10 kWh | Para garantizar 1–2 días de autonomía (Tesla Powerwall: 13,5 kWh) |
| Potencia instantánea | kW | 3 – 5 kW | Para picos de consumo (Tesla Powerwall: 5 kW) |
| Superficie para paneles PV | m ² | 10 – 20 m ² | Para un sistema de 3.5 kWp (350 W/panel, 2 m ² /panel, 10 paneles) |
| Capacidad de ACS (tanque) | Litros | 80 L / m ² colector solar | Recomendado por IDAE |

Figura 54: Tabla resumen de lo mínimo necesario en cuanto electricidad (Elaboración propia)

| Sistema | Energía generada (anual) | Eficiencia (%) | Producción estimada | Superficie requerida (para cubrir 6.000 kWh) | Notas |
|------------------------------|--|-----------------|----------------------------------|---|---|
| Solar Fotovoltaica | 1.560 HSP × 200 W/m ² | 12–25 % | 2.723 kWh/m ² /año | ~2.2 m ² por cada 1.000 kWh → ~13.2 m ² | Producción basada en datos de Madrid, según Cambio Energético |
| Solar Térmica | 750–1.200 kWh térmicos/m ² /año | 50–70 % | Para 1 persona: 573 kWh/año | 0.5 – 0.75 m ² /persona | 1 m ² → 750–1.200 kWh térmicos |
| Microenergía Eólica | ~125 W/m ² × 8760 h = 1.095 kWh/m ² /año | ~40 % (de Betz) | 1.095 kWh/m ² /año | ~5.5 m ² para 6.000 kWh/año | Depende fuertemente del régimen eólico local |
| Baterías (Tesla Powerwall) | 13.5 kWh almacenamiento | 90–95 % | Hasta 6.000 ciclos | 0.13 m ³ volumen | Ideal para espacios reducidos |
| Sistema Híbrido Solar+Eólico | Combinado | Complementaria | Más estable, generación continua | Depende del mix | Ideal para asegurar energía día y noche |

Figura 55: Tabla resumen de los sistemas mencionados (Elaboración propia)

Gestión eficiente del agua

Para concluir este capítulo, se abordará el tema del agua, cuya gestión constituye uno de los pilares esenciales para la supervivencia humana, al igual que la alimentación. En contextos donde el acceso al agua es limitado o condicionado por factores climáticos, resulta fundamental diseñar viviendas que incorporen estrategias eficaces para su abastecimiento, reutilización y ahorro. Este apartado se organizará en tres secciones: en primer lugar, se analizarán los métodos de captación y reutilización del agua; en segundo lugar, se revisarán los consumos mínimos necesarios para el ser humano; y, finalmente, se presentarán estrategias para optimizar su uso.

Una de las mejores estrategias para aplicar en Madrid sería la captación de agua mediante la lluvia. En Madrid la precipitación media anual ronda los 436mm según la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología de España, s.f.). La fórmula se puede calcular el volumen potencial recolectado mediante la siguiente formula:

Volumen anual (L) = superficie de captación (m²) × precipitación anual (mm) × coeficiente de escorrentía

Por ejemplo, para una cubierta de 40 m² y un coeficiente de escorrentía de 0,8 (valor habitual para cubiertas inclinadas o lisas):

$$40 \times 436 \times 0,8 = 13.952 \text{ litros anuales}$$

Este volumen de agua puede ser almacenado para posteriormente utilizarlo sobre todo en usos no potables como el riego de las plantas, las cisternas o la limpieza de la casa. Para poder usar el agua para el consumo habría que filtrarla; para ello se suele emplear un proceso que va por etapas:

La primera etapa es la filtración mecánica donde el agua proveniente de las lluvias es filtrada con una malla o prefiltros que eliminan las partículas grandes (como las hojas). Posteriormente esa agua pasaría por una filtración con carbón activado, que elimina los compuestos orgánicos, el cloro, los pesticidas y también hace que mejore el sabor. Después esa agua pasaría por una microfiltración (o membranas) que filtran las bacterias y los protozoos (organismos microscópicos que suelen estar en medios acuáticos). Finalmente, el agua pasaría por una desinsectación ultravioleta (UV) para eliminar las bacterias y virus sin la necesidad de añadir químicos o una cloración del agua controlada. Estas fases son las que la mayoría de las empresas del mundo utiliza para poder filtrar el agua, aunque puede variar según la empresa.

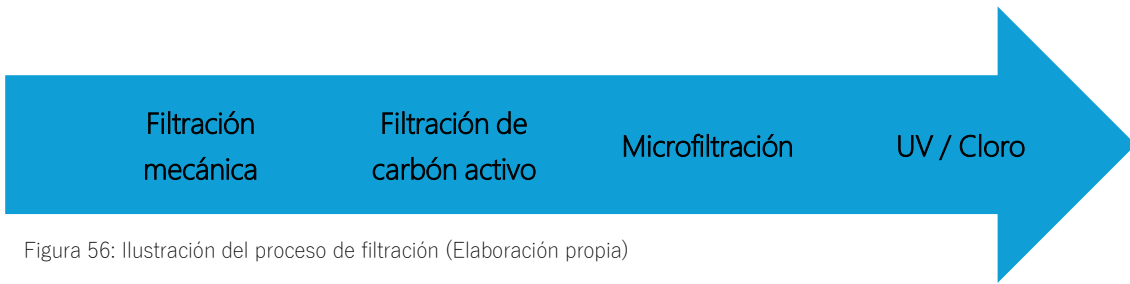


Figura 56: Ilustración del proceso de filtración (Elaboración propia)

También existen sistemas domésticos como los filtros de la empresa Berkey³⁷ o LifeStraw³⁸ que ya incluyen varios de estos pasos y son más adecuados para las viviendas de un tamaño menor.

Para el reciclaje de aguas grises (proveniente de las duchas, lavabos o lavadoras) se requiere otro tipo de filtrado. El reciclaje de las aguas grises ayuda a cubrir gran parte de las necesidades no potable por lo que es una consideración muy importante a tener en cuenta. El proceso del filtrado suele ser más sencillo y se suele hacer con un filtro de arena o grava para retener los sólidos, un filtro de carbón activado para eliminar los olores y los compuestos orgánicos y decantadores para la separación de grasas.

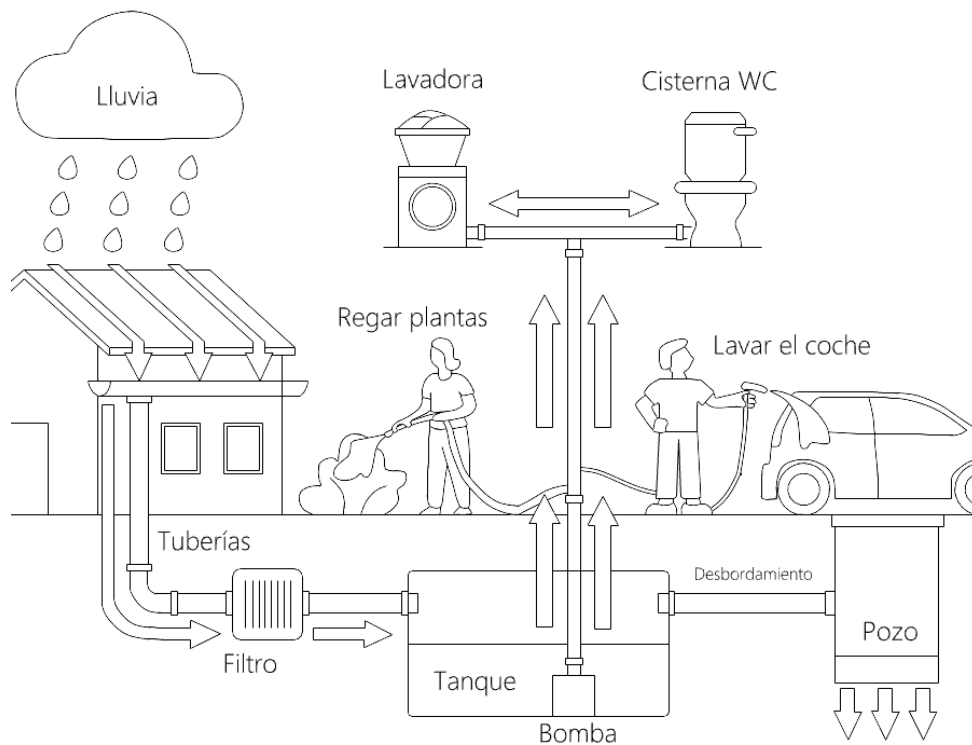


Figura 57: Esquema de reciclaje de agua (Elaboración propia)

³⁷ Berkeyexpert. (n.d.). Retrieved from <https://www.berkeyexpert.es/>

³⁸ LifeStraw. (n.d.). Retrieved from <https://eu.lifestraw.com/>

Según la Organización mundial de la Salud³⁹ (OMS) dice que el consumo mínimo imprescindible para garantizar la salud es de 50 litros por persona al día. Esta medida incluye el agua para beber para la higiene diaria y la cocina. En comparación el consumo medio domestico en España se sitúa en torno 130 litros por persona al día según el Instituto Nacional de Estadística⁴⁰.

En base a estos datos se puede hacer una estimación de lo que sería lo mínimo que necesita una persona:

| USO | Consumo estimado (L/día/persona) |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Consumo directo (beber, cocinar) | 5-10 |
| Higiene básica (ducha eficiente) | 20-30 |
| Limpieza y WC | 10-15 |
| Total mínimo estimado | 40-55 |

Figura 58: Tabla consumo mínimo de agua (Elaboración propia)

Es de gran importancia emplear en la casa estrategias para la optimización del uso del agua mediante estrategias tecnológicas como hábitos conscientes. Hoy en día, en el mercado se venden productos como grifos aireadores que pueden llegar a ahorrar hasta un 50% de agua, duchas eficientes que consumen menos de siete litros por minuto e inodoros con doble descarga de entre 3 y 6 L (dependiendo del agua que se necesite). Si se empleara un jardín de un metro cuadrado como se mostraba al principio del capítulo, una opción eficiente a la hora de regarlo sería mediante el uso de un riego por goteo.

Como se ha podido observar a lo largo de este apartado, una vivienda autosuficiente debe integrar un sistema de gestión del agua basado en la captación de la lluvia, contando con una reutilización de las aguas grises y una optimización del consumo mediante el uso de tecnologías.

³⁹ Howard, G. B.-A. (n.d.). World Health Organization. Retrieved from <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/338044/9789240015241-eng.pdf>

⁴⁰ Instituto Nacional de Estadística (INE). (2022). Retrieved from Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua: <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/ESSA2022.htm>

05

Calculadora de

“ Lo Mínimo ”

Tal como se indicó al inicio de este Trabajo de Fin de Grado, el objetivo final es la creación de una herramienta en formato Excel que permita calcular los requerimientos mínimos para que una vivienda sea autosuficiente, en función del número de personas que la habiten. A lo largo del desarrollo del trabajo, se ha recopilado una amplia base de información procedente de fuentes bibliográficas especializadas y datos de instituciones de reconocido prestigio. Esta información ha sido utilizada como base para el desarrollo del Excel, que se estructura de la siguiente manera:

| | | Personas | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|---------|-------------------|----------------|-----|--|-------|--|
| | | nº Hombres | nº Mujeres | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Total: | | 2 | huéspedes | | | | | | | | | | |
| | | | | Paneles solares PV | | | | | | | | | |
| Potencia del panel | 0,35 | (kW) | | | | | | | | | | | |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) | | | | | | | | | | | |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) | | | | | | | | | | | |
| HSP | 1560 | (anual) | | | | | | | | | | | |
| Energía anual x panel | 436,8 | (kWh/año) | | | | | | | | | | | |
| Nº de paneles necesarios | 8 | Paneles | | | | | | | | | | | |
| Superficie Min Panel PV | 17 | (m ²) | | | | | | | | | | | |
| | | | | Paneles solares térmicos | | | | | | | | | |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) | | | | | | | | | | | |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) | | | | | | | | | | | |
| HSP | 1560 | kWh/m ² | | | | | | | | | | | |
| Energía anual x panel | 2496 | (kWh/año) | | | | | | | | | | | |
| Nº de paneles necesarios | 1 | Paneles | | | | | | | | | | | |
| Superficie Min panel Térm | 2 | (m ²) | | | | | | | | | | | |
| | | | | Recogida de agua de lluvia | | | | | | | | | |
| Precipitación anual (mm) | 436 | | | | | | | | | | | | |
| Coeff. Escorrentía | 0,9 | | (Lo habitual en cub.inc) | | | | | | | | | | |
| Sup Cubierta mínima (m ²) | 89,16 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | (Modelo) | | | | | | | | | |
| Filtro Berkey recomendado | Travel Berkey | | | | | | | | | | | | |
| | | | | kcal | | m ² | | L | | L | | L | |
| | | | | kcal/año | Superficie Min Casa | Agua potable/año | ACS/año | Agua limpieza/año | Agua total/año | | | | |
| Como mínimo se necesita: | | | | 879.577 | 30 | 1.888 | 21.900 | 7.300 | 31.088 | | | | |
| | | | | kWh | | kW | | kWh | | kWh | | (Uds) | |
| Como mínimo se necesita: | | | | Baterías | Potencia instantanea | Energía anual | ACS/año | Tanque (80L) ACS | | | | | |
| | | | | 13,5 | 8 | 3.650 | 1.146 | 1 | | | | | |

| Necesitas | | | ¿Cómo es tu torre hidropónica? | | | ¿Cuánta capacidad tiene tu torre hidropónica? | | | ¿Cuánto ocupa tu torre hidropónica? | | | ¿Cómo es tu tanque para los peces? | | |
|-----------|---------|------|--|---------|----------------|---|----|-----------------|-------------------------------------|-----|----------------|------------------------------------|-----|---|
| Necesitas | 879.577 | kcal | ¿Cómo es tu torre hidropónica? | | | ¿Cuánta capacidad tiene tu torre hidropónica? | 36 | plantas x torre | ¿Cuánto ocupa tu torre hidropónica? | 0,5 | m ² | ¿Cómo es tu tanque para los peces? | | |
| | | | Ancho del tanque | 1,2 | m | | | | | | | Largo del tanque | 0,4 | m |
| | | | Altura del tanque | 0,5 | m | | | | | | | Tu tanque tiene | 240 | L |
| | | | Cantidad máxima de peces que puedes tener | 8 | peces | | | | | | | | | |
| | | | kcal provenientes por cada huerto 1m x 1m | 18.409 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | kcal provenientes de producción animal | 366.687 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | kcal provenientes del cultivo hidropónico | 15.146 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | kcal totales (vegetal + animal) | 400.241 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | Superficie ocupada por huerto 1x1 | 1,98 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | Superficie ocupada por hidroponia | 14,5 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | Superficie ocupada por animales | 81 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | Superficie total | 97,04 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | ¿Cuánto % de tu comida quieres que sea de origen animal? | 50 | % | | | | | | | | | |
| | | | Vas a necesitar de origen animal | 439.789 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | Vas a necesitar de origen vegetal | 439.789 | kcal | | | | | | | | | |
| | | | Vas a necesitar para tus animales | 97 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | Vas a necesitar para tus vegetales | 216 | m ² | | | | | | | | | |
| | | | Superficie para que cumpla las necesidades calóricas | 313 | m ² | | | | | | | | | |

| ¿QUE QUIERES COMER? | | HUERTO 1X1 | HIDROPONIA | HUERTO 1X1 | HIDROPONIA |
|---------------------|-------------------------------------|------------|------------|----------------|----------------|
| | | kcal/anual | kcal/anual | m ² | m ² |
| Acelga | <input checked="" type="checkbox"/> | 304,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Ajós | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.980,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Albahaca | <input checked="" type="checkbox"/> | 322,0 | 782,6 | 0,09 | 0,5 |
| Apio | <input checked="" type="checkbox"/> | 288,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Berenjena | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.000,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Brócoli | <input checked="" type="checkbox"/> | 340,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Cardínigos | <input checked="" type="checkbox"/> | 189,0 | 1.028,6 | 0,09 | 0,5 |
| Cebolla | <input checked="" type="checkbox"/> | 720,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Cebollino | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.920,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Col rizada | <input checked="" type="checkbox"/> | 490,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Lombarda | <input checked="" type="checkbox"/> | 372,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Coliflor | <input checked="" type="checkbox"/> | 300,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Endibia | <input checked="" type="checkbox"/> | 340,0 | 2.117,6 | 0,09 | 0,5 |
| Escarola | <input checked="" type="checkbox"/> | 408,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Espinaca | <input checked="" type="checkbox"/> | 828,0 | 1.878,3 | 0,09 | 0,5 |
| Guisantes | <input checked="" type="checkbox"/> | 486,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Habas | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.056,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Judías verdes | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.480,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Lechuga | <input checked="" type="checkbox"/> | 180,0 | 3.600,0 | 0,09 | 0,5 |
| Nabo | <input checked="" type="checkbox"/> | 630,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Pepino | <input checked="" type="checkbox"/> | 560,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Paek Choi | <input checked="" type="checkbox"/> | 520,0 | 5.538,5 | 0,09 | 0,5 |
| Perejil | <input checked="" type="checkbox"/> | 72,0 | 200,0 | 0,09 | 0,5 |
| Pimienta | <input checked="" type="checkbox"/> | 775,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Puerro | <input checked="" type="checkbox"/> | 610,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Rábano | <input checked="" type="checkbox"/> | 256,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Remolacha | <input checked="" type="checkbox"/> | 967,5 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Tomate | <input checked="" type="checkbox"/> | 810,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Zanahoria | <input checked="" type="checkbox"/> | 656,0 | 0,0 | 0,09 | 0,5 |
| Conejo | <input checked="" type="checkbox"/> | 108.990 | | 21 | |
| Gallina ponedora | <input checked="" type="checkbox"/> | 96.250 | | 30 | |
| Cobaya | <input checked="" type="checkbox"/> | 7.200 | | 3,6 | |
| Pato | <input checked="" type="checkbox"/> | 145.875 | | 25 | |
| Bagre | <input checked="" type="checkbox"/> | 6.300 | | 0,48 | |
| Tilapia | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.072 | | 0,48 | |

Figura 59: Página 1/4 del Excel (Elaboración propia)

La imagen mostrada (Figura 59) se corresponde con la primera página del Excel, donde se ha dividido en 4 colores para posteriormente poder ver esas zonas ampliadas para una mejor lectura de estas y poderlas explicar de la mejor manera posible.

| | Personas | |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| | nº Hombres | nº Mujeres |
| | 1 | 1 |
| Total: | 2 | huéspedes |
| | | |
| | Paneles solares PV | |
| Potencia del panel | 0,35 | (kW) |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) |
| HSP | 1560 | (anual) |
| | | |
| Energía anual x panel | 436,8 | (kWh/año) |
| Nº de paneles necesarios | 8 | Paneles |
| Superficie Min Panel PV | 17 | (m ²) |
| | | |
| | Paneles solares térmicos | |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) |
| HSP | 1560 | kWh/m ² |
| | | |
| Energía anual x panel | 2496 | (kWh/año) |
| Nº de paneles necesarios | 1 | Paneles |
| Superficie Min panel Térm | 2 | (m ²) |

Figura 60: Zoom del cuadrado rojo de la figura 59 (Elaboración propia)

Como se muestra en la imagen (Figura 60) el Excel tiene 2 colores principales, el amarillo y el rojo. Se ha optado por esta gama de colores tan llamativa para que fuese fácil reconocer las casillas a la hora de leer el Excel. Las casillas amarillas señalan aquellas casillas donde el usuario del Excel debe rellenar sus datos, como el número de personas que van a habitar la vivienda, las características de los paneles solares fotovoltaicos o de los paneles solares térmicos (como se muestra en la figura). Las casillas rojas por lo contrario son los números que te da el Excel automáticamente, esto lo hace relacionando los datos insertados por el usuario con las fórmulas vistas en los capítulos anteriores.

La primera página de todas (figura 59) se llama " Paneles solares " y esto se debe a que está diseñada para calcular al usuario la cantidad de paneles solares fotovoltaicos que necesitaría si fuese su única fuente de energía eléctrica.

| | (kcal) | (m ²) | (L) | (L) | (L) | (L) |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------------|--------------------------|---------|-------------------|-----------------|
| | kcal /año | Superficie Min Casa | Agua potable/año | ACS/año | Agua limpieza/año | Agua total /año |
| Como mínimo se necesita : | 879.577 | 30 | 1.898 | 21.900 | 7.300 | 31.098 |
| | (kWh) | (kW) | (kWh) | (kWh) | (Uds) | |
| | Baterías | Potencia instantanea | Energía anual | ACS/año | Tanque (80L) ACS | |
| Como mínimo se necesita : | 13,5 | 8 | 3.650 | 1.146 | 1 | |
| | Recolecta de agua de lluvia | | | | | |
| | Precipitación anual (mm) | 436 | | | | |
| | Coef. Escorrentía | 0,8 | (Lo habitual en cub.inc) | | | |
| | Sup Cubierta mínima (m ²) | 89,16 | | | | |
| | | (Modelo) | | | | |
| | Filtro Berkley recomendado | Travel Berkley | | | | |

Figura 61: Zoom del cuadrado amarillo de la figura 59 (Elaboración propia)

En esta segunda parte se puede observar que el Excel calcula la mayor cantidad de mínimos que necesitaría la vivienda, como, por ejemplo; las kcal anuales que necesitarían todos los individuos, la superficie mínima de la casa, el agua potable necesaria y la energía total que necesitan producir los paneles solares (en este caso) al año. Esta parte del Excel se mantiene igual en las próximas dos páginas ya que solo cambiarán la forma en la que se produce la energía (eólica e híbrida).

| | | |
|---|----------------|-----------------|
| Necesitas | 879.577 | kcal |
| ¿Cómo es tu torre hidropónica? | | |
| ¿Cuántas capacidad tiene tu torre hidropónica? | 36 | plantas x torre |
| ¿Cuánto ocupa tu torre hidropónica? | 0,5 | m ² |
| ¿Cómo es tu tanque para los peces? | | |
| Ancho del tanque | 1,2 | m |
| Largo del tanque | 0,4 | m |
| Altura del tanque | 0,5 | m |
| Tu tanque tiene | 240 | L |
| Cantidad máxima de peces que puedes tener | 8 | peces |
| kcal provenientes por cada huerto 1m x 1m | 18.409 | kcal |
| kcal provenientes de producción animal | 366.687 | kcal |
| kcal provenientes del cultivo hidropónico | 15.146 | kcal |
| kcal totales (vegetal + animal) | 400.241 | kcal |
| Superficie ocupada por huerto 1x1 | 1,98 | m ² |
| Superficie ocupada por hidroponía | 14,5 | m ² |
| Superficie ocupada por animales | 81 | m ² |
| Superficie total | 97,04 | m ² |
| ¿Cuánto % de tu comida quieres que sea de origen animal? | 50 | % |
| Vas a necesitar de origen animal | 439.789 | kcal |
| Vas a necesitar de origen vegetal | 439.789 | kcal |
| Vas a necesitar para tus animales | 97 | m ² |
| Vas a necesitar para tus vegetales | 216 | m ² |
| Superficie para que cumpla las necesidades calóricas | 313 | m ² |

Figura 62: Zoom del cuadrado morado de la figura 59 (Elaboración propia)

En la figura 62 se puede ver el zoom del recuadro morado, donde se concentran la mayoría de los datos relacionados con el alimento. Se puede observar que implementa todos los tipos de producción de alimento que se ha visto en el capítulo anterior de este TFG, dando como resultado final las superficies mínimas que van a ocupar estos elementos. Una cosa a destacar de la producción de alimentos de este Excel es que se adapta a cada usuario, pudiendo elegir el porcentaje de alimento de origen animal que este desee. Dicho de otra forma, una persona que sea totalmente vegetariana podrá calcular también los requerimientos de espacio mínimo que va a necesitar para poder cultivar sus hortalizas (cumpliendo las calorías mínimas anuales).

| QUÉ QUIERES COMER? | | HUERTO 1X1 | HIDROPONÍA | HUERTO 1X1 | HIDROPONÍA |
|--------------------|-------------------------------------|------------|------------|----------------|----------------|
| | | kcal/anual | kcal/anual | m ² | m ² |
| Acelga | <input checked="" type="checkbox"/> | 304,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Ajos | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.980,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Albahaca | <input checked="" type="checkbox"/> | 322,0 | 782,6 | 0,09 | 0,5 |
| Apio | <input checked="" type="checkbox"/> | 288,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Berenjena | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.000,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Brócoli | <input checked="" type="checkbox"/> | 340,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Canónigos | <input checked="" type="checkbox"/> | 189,0 | 1.028,6 | 0,09 | 0,5 |
| Cebolla | <input checked="" type="checkbox"/> | 720,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Cebollino | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.920,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Col rizada | <input checked="" type="checkbox"/> | 490,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Lombarda | <input checked="" type="checkbox"/> | 372,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Coliflor | <input checked="" type="checkbox"/> | 300,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Endibia | <input checked="" type="checkbox"/> | 340,0 | 2.117,6 | 0,09 | 0,5 |
| Escarola | <input checked="" type="checkbox"/> | 408,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Espinaca | <input checked="" type="checkbox"/> | 828,0 | 1.878,3 | 0,09 | 0,5 |
| Guisantes | <input checked="" type="checkbox"/> | 486,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Habas | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.056,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Judías verdes | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.480,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Lechuga | <input checked="" type="checkbox"/> | 180,0 | 3.600,0 | 0,09 | 0,5 |
| Nabo | <input checked="" type="checkbox"/> | 630,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Pepino | <input checked="" type="checkbox"/> | 560,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Pack Choi | <input checked="" type="checkbox"/> | 520,0 | 5.538,5 | 0,09 | 0,5 |
| Perejil | <input checked="" type="checkbox"/> | 72,0 | 200,0 | 0,09 | 0,5 |
| Pimiento | <input checked="" type="checkbox"/> | 775,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Puerro | <input checked="" type="checkbox"/> | 610,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Rábano | <input checked="" type="checkbox"/> | 256,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Remolacha | <input checked="" type="checkbox"/> | 967,5 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Tomate | <input checked="" type="checkbox"/> | 810,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Zanahoria | <input checked="" type="checkbox"/> | 656,0 | 0,0 | 0,09 | 0,0 |
| Conejo | <input checked="" type="checkbox"/> | 108.990 | | 21 | |
| Gallina ponedora | <input checked="" type="checkbox"/> | 95.250 | | 30 | |
| Cobaya | <input checked="" type="checkbox"/> | 7.200 | | 3,6 | |
| Pato | <input checked="" type="checkbox"/> | 145.875 | | 25 | |
| Bagre | <input checked="" type="checkbox"/> | 6.300 | | 0,48 | |
| Tilapia | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.072 | | 0,48 | |

Figura 63: Zoom del cuadrado azul de la figura 59 (Elaboración propia)

Por último, en la figura 63 se puede observar la continuación del recuadro morado (figura 62) donde se ha creado un checkbox para cada alimento. Esto se debe a que el usuario del Excel no solo podrá decidir el porcentaje de comida con origen animal, sino que también podrá elegir a su gusto los alimentos que va a cultivar/criar. Para poder generar este recuadro se ha requerido hacer una página solo dedicada a los datos de cada alimento (ya sea de origen animal o no) como si fuese una especie de "base de datos" y se ha conectado con cada checkbox. Ha sido un proceso un tanto complejo de ejecutar, pero ha sido necesario para poder facilitar al usuario lo máximo posible el uso de la calculadora.

La "base de datos" se encuentra en la última página del Excel y se ve de la siguiente forma:

| | Origen Vegetal | | | Huerto 1m ² | | | Hidroponía vertical |
|-----------|----------------|-------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------------|------------|-----------------------------|
| | Nombre | kcal (100g) | Cosecha Anual x planta (Kg) | Nº Semillas x cuadrado | Producción anual x cuadrado (Kg) | kcal/anual | Cosecha Anual x planta (Kg) |
| VERDADERO | Acelga | 19 | 0,4 | 4 | 1,6 | 304 | |
| VERDADERO | Ajos | 149 | 0,5 | 4 | 2 | 2.980 | |
| VERDADERO | Albahaca | 23 | 0,35 | 4 | 1,4 | 322 | 0,5 |
| VERDADERO | Apio | 16 | 0,45 | 4 | 1,8 | 288 | |
| VERDADERO | Berenjena | 25 | 4 | 1 | 4 | 1.000 | |
| VERDADERO | Brócoli | 34 | 1 | 1 | 1 | 340 | |
| VERDADERO | Canónigos | 21 | 0,1 | 9 | 0,9 | 189 | 0,6 |
| VERDADERO | Cebolla | 40 | 0,2 | 9 | 1,8 | 720 | |
| VERDADERO | Cebollino | 30 | 0,4 | 16 | 6,4 | 1.920 | |
| VERDADERO | Col rizada | 49 | 1 | 1 | 1 | 490 | |
| VERDADERO | Lombarda | 31 | 1,2 | 1 | 1,2 | 372 | |
| VERDADERO | Coliflor | 25 | 1,2 | 1 | 1,2 | 300 | |
| VERDADERO | Endibia | 17 | 0,5 | 4 | 2 | 340 | 1 |
| VERDADERO | Escarola | 17 | 0,6 | 4 | 2,4 | 408 | |
| VERDADERO | Espinaca | 23 | 0,4 | 9 | 3,6 | 828 | 1,2 |
| VERDADERO | Guisantes | 81 | 0,15 | 4 | 0,6 | 486 | |
| VERDADERO | Habas | 88 | 0,3 | 4 | 1,2 | 1.056 | |
| VERDADERO | Judías verdes | 31 | 2 | 4 | 8 | 2.480 | |
| VERDADERO | Lechuga | 15 | 0,3 | 4 | 1,2 | 180 | 1,5 |
| VERDADERO | Nabo | 28 | 0,25 | 9 | 2,25 | 630 | |
| VERDADERO | Pepino | 16 | 3,5 | 1 | 3,5 | 560 | |
| VERDADERO | Pack Choi | 13 | 1 | 4 | 4 | 520 | 2 |
| VERDADERO | Perejil | 36 | 0,2 | 1 | 0,2 | 72 | 0,2 |
| VERDADERO | Pimiento | 31 | 2,5 | 1 | 2,5 | 775 | |
| VERDADERO | Puerro | 61 | 0,25 | 4 | 1 | 610 | |
| VERDADERO | Rábano | 16 | 0,1 | 16 | 1,6 | 256 | |
| VERDADERO | Remolacha | 43 | 0,25 | 9 | 2,25 | 968 | |
| VERDADERO | Tomate | 18 | 4,5 | 1 | 4,5 | 810 | |
| VERDADERO | Zanahoria | 41 | 0,1 | 16 | 1,6 | 656 | |

Figura 64: "Base de datos" de los elementos de origen vegetales (Elaboración propia)

Lo que se ve a la izquierda del todo, donde pone "verdadero", hace referencia a los checkbox que están marcados, y automáticamente extrae la información necesaria de esta página para poder formar la tabla anterior (Figura 63). También se puede observar que solo las plantas ligeras están catalogadas para poder ser cultivadas con hidroponía como se había mencionado en el capítulo anterior y ahorrar aún más espacio.

| Origen Animal | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|---------------------------------------|---|-------------------------|------------|
| | Nombre | kcal (100g) | Producción carne limpia x animal (kg) | Producción Anual animales (Uds) | m ² x Animal | kcal/añual |
| VERDADERO | Conejo | 173 | 1,5 | 42 | 0,5 | 108.990 |
| VERDADERO | Gallina ponedora | 165 | 1,5 | 30 | 1 | 74.250 |
| | Huevo Gallina | 70 | | 300 | | 21.000 |
| VERDADERO | Cobaya | 120 | 0,5 | 12 | 0,3 | 7.200 |
| VERDADERO | Pato | 337 | 1,5 | 25 | 1 | 126.375 |
| | Huevo Pato | 130 | | 150 | | 19.500 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Origen Animal (Peces) | | | | | | |
| | Nombre | kcal (100g) | Producción carne limpia x animal (kg) | Producción Anual animales (Uds/m ²) | L x Pez | kcal/añual |
| VERDADERO | Bagre | 105 | 0,75 | 200 | 30 | 6.300 |
| VERDADERO | Tilapia | 96 | 0,4 | 70 | 30 | 3.072 |

Figura 65: "Base de datos" de los elementos de origen animal (Elaboración propia)

Como se mencionaba anteriormente, el Excel dispone de otras 2 páginas principales más; una donde calcula las necesidades si se busca la generación de energía solo empleando la energía eólica y otra donde calcula las necesidades de un sistema híbrido.

Realmente solo cambia la parte del recuadro rojo y se vería de la siguiente forma:

| Turbina microeólica | | |
|---------------------------|--------|----------------------|
| Densidad del aire | 1,225 | (kg/m ³) |
| Velocidad del viento | 8 | (m/s) |
| Eficiencia de la turbina | 40 | (%) |
| Área de barrido | 3 | (m ²) |
| | | |
| Energía x hora | 376,32 | (Wh) |
| Producción anual de E | 3.297 | kWh/año |
| Nº de turbinas necesarias | 2 | Uds |
| | | |
| Paneles solares térmicos | | |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) |
| HSP | 1560 | kWh/m ² |
| | | |
| Energía anual x panel | 2496 | (kWh/año) |
| Nº de paneles necesarios | 1 | Paneles |
| Superficie Min panel Térm | 2 | (m ²) |

Figura 66: Zoom del cuadrado rojo de la página 2 del Excel-sistema 100% eólico (Elaboración propia)

| SISTEMA HÍBRIDO | | |
|---|-------|----------------------|
| Cuáto % de E solar quieres? | 80 | (%) |
| Necesitas cubrir con E solar | 2.920 | (kWh/año) |
| Necesitas cubrir con viento | 730 | (kWh/año) |
| Energía anual x panel | 436,8 | (kWh/año) |
| Nº de paneles PV necesarios | 7 | Paneles |
| Superficie necesaria de paneles PV | 3 | (m ²) |
| Energía anual x turbina | 3.297 | (Wh) |
| Nº de turbinas necesarias | 1 | Uds |
| | | |
| Paneles solares PV | | |
| Potencia del panel | 0,35 | (kW) |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) |
| HSP | 1560 | (anual) |
| Paneles solares térmicos | | |
| Superficie x panel | 2 | (m ²) |
| Eficiencia del sistema | 80 | (%) |
| HSP | 1560 | kWh/m ² |
| | | |
| Energía anual x panel | 2496 | (kWh/año) |
| Nº de paneles necesarios | 1 | Paneles |
| Superficie Min panel Térm | 2 | (m ²) |
| Turbina microeólica | | |
| Densidad del aire | 1,225 | (kg/m ³) |
| Velocidad del viento | 8 | (m/s) |
| Eficiencia de la turbina | 40 | (%) |
| Área de barrido | 3 | (m ²) |

Figura 67: Zoom del cuadrado rojo de la página 3 del Excel-sistema Híbrido (Elaboración propia)

En la página del sistema híbrido al combinar la energía eólica y la fotovoltaica no solo se requieren los datos de cada elemento, sino que surge una nueva incógnita como en los alimentos; la cual es el porcentaje de energía solar fotovoltaica que se quiere emplear. Con este sistema el usuario del Excel podrá estimar valores de manera mucho más personalizada.

En resumen, este capítulo presenta el Excel desarrollado para aplicar de forma práctica los conocimientos obtenidos a lo largo del TFG. Se ha diseñado con la intención de que cualquier usuario pueda utilizarlo fácilmente, sin necesidad de conocimientos técnicos. Los datos y relaciones que contiene han sido extraídos de la investigación realizada en los capítulos anteriores, y permiten evaluar de forma sencilla los aspectos clave para que una vivienda sea autosuficiente. Para facilitar poder utilizar este Excel, se incluye un código QR donde al escanearlo permite el acceso a la descarga "Lo mínimo". La herramienta está disponible de forma totalmente gratuita para cualquier persona interesada. Si desea descargarla, no dude en hacerlo mediante el QR facilitado.



Figura 68: Código QR con enlace a la descarga del Excel (Elaboración propia)

06

Conclusión y
reflexiones

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se ha intentado responder a una pregunta; ¿Qué es lo mínimo necesario para diseñar una vivienda autosuficiente? Esta investigación motivada por el interés y la curiosidad en descubrir los requerimientos básicos para la supervivencia humana, ha adoptado una perspectiva multidisciplinar, combinando datos técnicos, climáticos y energéticos. El objetivo principal ha sido establecer una base sólida que facilite el diseño de viviendas mínimas y autosuficientes adaptadas a distintos entornos (aunque en este estudio el análisis se ha centrado específicamente en la ciudad de Madrid).

Después de una investigación exhaustiva sobre viviendas autosuficientes, se han podido establecer una serie de conclusiones y reflexiones sobre la viabilidad de la arquitectura autosuficiente que se detallan a continuación:

1-Supervivencia:

Se ha definido un conjunto de necesidades básicas de supervivencia (alimentación, temperatura, agua) traducidas a parámetros cuantificables que permiten su análisis y cálculo dentro del Excel desarrollado.

2-Confort:

Se han identificado los parámetros ambientales y los factores que influyen en la percepción del confort.

3-Clima:

Se ha evidenciado la importancia del diseño pasivo no solo para mejorar el confort humano en la vivienda, sino también para reducir el impacto ambiental y el consumo energético.

4-Alimentación:

La investigación sobre diversas estrategias de autosuficiencia ha permitido recopilar información relevante sobre sistemas de cultivo y cría de animales, con un enfoque en la optimización del espacio y la mejora de la eficiencia, destacando soluciones como la hidroponía vertical.

5-Energía:

Se han identificado distintos métodos de generación de energía, destacando tanto sus beneficios como los riesgos de cada una.

6-Excel:

Se ha desarrollado un método a partir de una hoja de cálculo Excel que integra los datos recopilados y calcula los requerimientos mínimos necesarios para las personas que van a habitar el lugar.

En conjunto, todos los resultados obtenidos en este TFG indican que **es posible diseñar espacios habitables que satisfagan las necesidades básicas con un impacto ambiental prácticamente nulo** siempre que se realice un análisis detallado del contexto y se adopten decisiones estratégicas desde las etapas iniciales del proyecto.

La arquitectura autosuficiente no constituye una utopía, pero tampoco representa una solución universal e inmediata a los problemas globales. A lo largo de este trabajo se ha establecido que el concepto de "Autosuficiencia" no debe interpretarse como una fórmula rígida, sino como un enfoque flexible y adaptativo que orienta las decisiones de diseño y proyecto responsables.

Desde una perspectiva técnica, la investigación realizada en este trabajo indica que la autosuficiencia es viable en múltiples contextos, especialmente cuando se parte de una escala reducida y se implementan sistemas optimizados para el clima local. No obstante, es importante reconocer, que el acceso a la tecnología especializada, al conocimiento o, directamente a los recursos necesarios no está garantizado para toda la población, lo que puede limitar su implementación generalizada.

Por lo tanto, lo más relevante de este trabajo y del enfoque que quiere transmitir no radica en alcanzar una autosuficiencia absoluta, sino en un cambio de perspectiva que propone: reflexionar sobre lo esencial, fomentar el uso consciente de los recursos y considerar la arquitectura como una herramienta activa frente a la crisis ambiental. En este contexto, la autosuficiencia se plantea más como una actitud ante un proyecto más que una condición material estrictamente material. Este TFG ha representado una oportunidad para repensar el papel del arquitecto, no solo como diseñador de espacios, sino como mediador entre el ser humano, la técnica y el entorno.

Finalmente, este Trabajo de Fin de Grado también se ha realizado con el propósito de incentivar al lector (sea arquitecto o no) a aportar su "granito de arena" para construir un mundo más sostenible; ya sea mediante la modificación de hábitos cotidianos, una mayor conciencia del consumo energético en casa o aplicando alguna de las tecnologías o estrategias abordadas en este estudio. Cada acción contribuye a la sostenibilidad. Porque todo suma, aunque esto sea

LO MÍNIMO.

07

Bibliografía

Bibliografía

- A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. (1990). *The American Journal of Clinical Nutrition*, 139-319. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Harris%E2%80%93Benedict_equation
- Aerogenerador*. (2025). Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador?utm_source=chatgpt.com
- Agencia Estatal de Meteorología de España*. (s.f.). Obtenido de <https://www.aemet.es/es/portada>
- APR Green Home*. (s.f.). Obtenido de <https://aprgreenhome.com/>
- Asociación Profesional de Diseñadores de Iluminación*. (s.f.). Obtenido de <https://a-pdi.org/rafael-serra-i-florensa-1941-2012/>
- Ayuntamiento de Madrid*. (Febrero de 2024). Obtenido de Compendio MPG NNUU: https://transparencia.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCUrbanismo/PGOUM/CompendioNNUU/Compendio%202024/COMPENDIO_MPG_NNUU_2024.pdf
- Baras, T. (2018). *DIY Hydroponic Gardens*. Quarto Publishing Group USA.
- Bartholomew, M. (2013). *El huerto en 1 metro cuadrado*. BLUME.
- Bautista-Gómez, M. I.-R.-S.-L. (2023). *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*. Obtenido de <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial3.11509>
- Berkeleyexpert*. (s.f.). Obtenido de <https://www.berkeleyexpert.es/>
- Cambio Energético*. (s.f.). Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/cuantas-placas-solares-se-necesitan-para-vivienda/>
- Chauca de Zaldívar, L. (1997). *Producción de cuyes (Cavia porcellus)*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <https://www.fao.org/4/w6562s/w6562s00.htm>
- Código Técnico*. (s.f.). Obtenido de DB HE 4: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>
- Damerow, G. (2011). *The Backyard Homestead Guide to Raising Farm Animals*. Storey Publishing.
- Datos Mundial*. (Abril de 2025). Obtenido de <https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php#by-country>
- EU Science Hub*. (s.f.). Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- Fathy, H. (2021). *Arquitectura para los pobres: un experimento en Egipto rural*. Madrid: Ediciones Asimétricas.
- Fundación Aquae*. (20 de Febrero de 2022). Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/porcentaje-agua-cuerpo-humano/#:~:text=De%20hecho%2C%20una%20mujer%20adulta,%2Dalrededor%20de%203%20litros%2D>.
- Hess, A. (2012). *The Weekend Homesteader*. Skyhorse Publishing.
- Holderread, D. (2000). *Storey's Guide to Raising Ducks*. Storey Publishing.
- Holmgren, D. (2002). *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*. Melliodora Publishing.

- Howard, G. B.-A. (s.f.). *World Health Organization*. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/338044/9789240015241-eng.pdf>
- iberlibro.com*. (s.f.). Obtenido de <https://www.iberlibro.com/9780751304268/complete-book-sufficiency-Seymour-John-0751304263/plp>
- Instituto Nacional de Estadística (INE)*. (2022). Obtenido de Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua: <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/ESSA2022.htm>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. (s.f.). Obtenido de <https://www.idae.es/>
- Kahn, L. (1999). *Shelter*. Chronicle Books.
- Lebas, F. (1996). *EL CONEJO Cría y patología*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <https://www.fao.org/4/t1690s/t1690s.pdf>
- LG*. (s.f.). Obtenido de <https://www.lgessbattery.com/es/home-battery/intro.lg>
- LifeStraw*. (s.f.). Obtenido de <https://eu.lifestraw.com/>
- Lozano Serrano, M. Á. (2019). *COLECTORES SOLARES TÉRMICOS*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/338254329_COLECTORES_SOLARES_TERMICOS
- Mollison, B. (1988). *Permaculture: A Designer's Manual*. Tagari Publications.
- Neila Gonzalez, F. J. (2004). *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*. Munilla-Lería.
- Neufert, E. (1995). *Arte de proyectar en arquitectura*. Barcelona: G.Gilli.SA.
- Para mejorar textos puntuales*. (s.f.). Obtenido de Chat GPT: <https://chatgpt.com/>
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook*. CRC Press.
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gil. SA.
- Seymour, J. (1976). *The Complete Book of Self-Sufficiency*. London: Dorling Kindersley.
- Seymour, J. (2024). *GPI el horticultor autosuficiente y la vida en el campo*. BLUME.
- Somerville, C. C. (2014). *Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming*. Obtenido de FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: <https://openknowledge.fao.org/items/e4d11efd-d97a-4959-8ae2-8b7d3fd32c5e>
- Strawbridge, J. (2018). *La guía completa para una vida autosuficiente*. BLUME.
- Tesla*. (s.f.). Obtenido de https://www.tesla.com/es_es/powerwall
- UE*. (s.f.). Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>
- Vale, B., & Vale, R. (2000). *The Autonomous House*. Thames & Hudson.
- Van der Ryn, S., & Cowan, S. (1995). *Ecological Design*. Island Press.

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de Clasificación climática de Köppen:

https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen

Wikipedia. (2025). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_del_cuerpo_humano

Wikipedia. (Marzo de 2025). Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen

Ilustraciones

FIGURA

1- Portada del libro *The Complete Book of Self Sufficiency* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/complete-book-self-sufficiency/dp/0751304263>

2- Portada del libro *Arquitectura para los pobres* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/ARQUITECTURA-PARA-LOS-POBRES-experimento/dp/8417905774>

3- Imagen de la primera escuela autosuficiente argentina; Earthship de de Michael Reynolds (Tomada de internet):

<https://www.archdaily.cl/cl/887848/michael-reynolds-construira-la-primera-escuela-publica-sustentable-de-argentina>

4- Portada del libro *Ecological Design* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/Ecological-Design-Sim-Cowan-Stuart/dp/1559633891>

5- Portada del libro *Shelter* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/Shelter-Library-Building-Books/dp/0936070110>

6- Imagen del libro *The Autonomous House* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/New-Autonomous-House-Planning-Sustainability/dp/0500341761>

7- Portada del libro *Permaculture: A Designer's Manual* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.com/Permaculture-Designers-Manual-Mollison-1988-12-24/dp/B01NANQQZU>

8- Portada del libro *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability* (Tomada de internet):

<https://www.amazon.es/Permaculture-Principles-Pathways-Beyond-Sustainability/dp/0646418440>

9- Ilustración explicativa de lo que engloba el Excel (Elaboración propia)

10- Rangos de temperaturas mínimas y máximas (Elaboración propia)

11- Relación de conceptos para lograr el confort (Elaboración propia)

12- Tabla de Parámetros ambientales (Elaboración propia a partir del libro *Arquitectura y climas* de Rafael Serra)

13- Relación de condiciones del individuo (Elaboración propia)

14- Croquis de una vivienda mínima según PGOUM (Elaboración propia)

15- Esquemas de tipos de baños mínimos (Elaboración propia a partir de la Página 222 de " *Arte de proyectar en arquitectura* " de Ernst Neufert)

16- Esquemas de tipos de cocinas mínimas (Elaboración propia a partir de la Página 215 de " *Arte de proyectar en arquitectura* " de Ernst Neufert)

- 17- Tabla de medidas de los aparatos del baño (Elaboración propia a partir de la Página 224 de " *Arte de proyectar en arquitectura* " de Ernst Neufert)
- 18- Tipos de camas plegables (Elaboración propia a partir de la Página 218 de " *El arte de proyectar en arquitectura* " de Ernst Neufert)
- 19- Croquis de espacios principales y auxiliares (Elaboración propia)
- 20- Temperatura y precipitación de Madrid 2024 (Elaboración propia a partir de los datos de la AEMET):
https://www.aemet.es/es/datos_abiertos/estadisticas/estadistica_meteorofenologicas
- 21-Clasificación climática de Köppen-Geiger (Ilustración tomada de Wikipedia):
https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen
- 22- Clasificación climática de Köppen-Geiger por temperaturas (Ilustración tomada de Wikipedia):
https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen
- 23- Estrategias bioclimáticas dependiendo de la época del año (Elaboración propia)
- 24- Clasificación de los sistemas de captación (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 262)
- 25- Ganancias solares a través de huecos con distintas orientaciones (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 288)
- 26- Tipos de cubiertas ventiladas (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 295)
- 27- Tipos de cubiertas ventiladas orientaciones (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 299)
- 28- Sistemas de deshumedecimiento (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 304)
- 29- Influencia del tamaño del hueco en la velocidad del aire (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila González, 2004) página 311)
- 30- Cubiertas húmedas como sistema de enfriamiento por radiación nocturna (Elaboración propia a partir de ilustración de *Arquitectura bioclimática* (Neila Gonzalez, 2004) página 324)
- 31- Perfil del Horizonte de Madrid-Retiro (Elaboración propia a partir de photovoltaic geographical information system (PGIS))
- 32- " *finca de un acre* " (*1 Acre Holding*) (The Complete Book of Self-Sufficiency, 1976, págs. 20-21) (Ilustración tomada de internet):
<https://www.motherearthnews.com/homesteading-and-livestock/one-acre-self-sufficient-homestead-zm0z11zkon/>

- 33- Portada del libro *El huerto en 1m2* (Tomada del libro en PDF)
- 34- Portada del libro *The weekend Homesteader* (Tomada del libro en PDF)
- 35- Portada del libro *La guía completa para una vida autosuficiente* (Tomada de internet):
<https://www.amazon.es/gu%C3%ADa-completa-para-vida-autosuficiente/dp/8416965005>
- 36- Esquema de la división del huerto de un metro cuadrado (Elaboración propia)
- 37- Espacio necesario por planta (Elaboración propia)
- 38- Portada del libro *Hydroponic Food Production* (Tomada del libro en PDF)
- 39- Portada del libro *DIY Hydroponic Gardens* (Tomada del libro en PDF)
- 40- Foto de un cultivo hidropónico vertical (Imagen tomada del libro de Baras (Baras, 2018, pág. 118))
- 41- Ilustración explicativa del sistema NFT (Elaboración propia)
- 42- Imagen de NFTree (Imagen tomada de la web de APR Green Home):
<https://aprgreenhome.com/sistemas-hidroponicos/hidroponia-vertical-nftree/>
- 43- Imagen del libro *El horticultor autosuficiente y la vida en el campo* (Tomada de internet):
<https://www.astrolibros.com/eu/guia-practica-para-el-horticultor-autosuficiente-y-la-vida-en-el-campo.html>
- 44- Imagen del libro *The Backyard Homestead* (Tomada de internet):
<https://www.hachette.co.uk/titles/gail-damerow/the-backyard-homestead-guide-to-raising-farm-animals/9781603429696/>
- 45- Portada del estudio de las cobayas de la FAO (Tomada de internet):
<https://www.fao.org/4/w6562s/w6562s00.htm>
- 46- Imagen del libro *Guide to raising ducks* (Tomada de internet):
<https://berryhill.ca/products/storeys-guide-to-raising-ducks>
- 47- Imagen del artículo de la FAO sobre la acuaponía (Tomada del libro en PDF)
- 48- Ilustración explicativa de la acuaponía (Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming, 2014, pág. 250)
- 49- Tabla resumen de cada animal (Elaboración propia)
- 50- Tabla de HSP según provincia (Ilustración tomada de la web oficial de Cambio Energético):
<https://www.cambioenergetico.com/blog/cuantas-placas-solares-se-necesitan-para-vivienda/>
- 51- Tabla del CTE DB HS4
<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>

- 52- Ilustración representativa de un sistema híbrido (Elaboración propia)
- 53- Imagen de la Tesla Powerball (Imagen tomada de la página oficial):
https://www.tesla.com/es_es/powerwall
- 54- Tabla resumen de lo mínimo necesario en cuanto electricidad (Elaboración propia)
- 55- Tabla resumen de los sistemas mencionados (Elaboración propia)
- 56- Ilustración del proceso de filtración (Elaboración propia)
- 57- Esquema de reciclaje de agua (Elaboración propia)
- 58- Tabla consumo mínimo de agua (Elaboración propia)
- 59- Página 1/4 del Excel (Elaboración propia)
- 60- Zoom del cuadrado rojo de la figura 59 (Elaboración propia)
- 61- Zoom del cuadrado amarillo de la figura 59 (Elaboración propia)
- 62- Zoom del cuadrado morado de la figura 59 (Elaboración propia)
- 63- Zoom del cuadrado azul de la figura 59 (Elaboración propia)
- 64- " Base de datos " de los elementos de origen vegetales (Elaboración propia)
- 65- " Base de datos " de los elementos de origen animal (Elaboración propia)
- 66- Zoom del cuadrado rojo de la página 2 del Excel-sistema 100% eólico (Elaboración propia)
- 67- Zoom del cuadrado rojo de la página 3 del Excel-sistema Híbrido (Elaboración propia)
- 68-Código QR con enlace a la descarga del Excel (Elaboración propia)