

---

## La estrategia bioclimática como base para una gestión energética de excelencia

Guillermo Casado-López<sup>1</sup>  
Enrique Gea-Izquierdo<sup>2</sup>

### *Introducción*

LOS PROBLEMAS CLIMÁTICOS y económicos del modelo basado en los combustibles fósiles ha generado en las últimas décadas un desarrollo y promoción del uso de energías renovables. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)<sup>3</sup> publicó en 2014 su *Informe de Síntesis AR5*<sup>4</sup>, en el cual se indica que para reducir de forma sustancial las emisiones se necesitan grandes cambios en los patrones de inversión. En la presentación del informe a las Naciones Unidas del 2 de noviembre de 2014 en Copenhague, Dinamarca, Ban Ki-moon, Secretario General de Naciones Unidas, declaró:

Llevo tiempo urgiendo [...] a que reduzcan sus inversiones en carbón y en una economía que se nutre de los combustibles fósiles y las redirijan a fuentes de energía renovables.

- 
1. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
  2. Pontificia Universidad Católica del Ecuador / Universidad de Málaga, España.
  3. El IPCC (o Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) fue creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.
  4. AR5 es el quinto informe emitido por el IPCC. En él participaron científicos expertos en el cambio climático y los usuarios a quienes va dirigido el informe: principalmente, gobiernos internacionales.

Esta mutación necesaria en las políticas energéticas reviste una gran complejidad, ya que las matrices energéticas mundiales están organizadas en torno a los combustibles fósiles, por lo que el cambio supone una inmensa inversión acompañada de una adecuación de la producción industrial. La modificación de las emisiones pico en los próximos 5 a 15 años, con reducciones entre 4 % y 5 % anuales, parece *a priori* imposible, siendo la única vía a seguir una reestructuración radical del modelo energético en un plazo corto (Mueller et al., 2016). Este giro extremo en el modelo energético pasa indefectiblemente por una revisión de los paradigmas energéticos de la edificación y la construcción. En el informe *Global Status Report 2017*,<sup>5</sup> realizado por la ONU Medio Ambiente, se indica que los edificios representaron en 2016, 28 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, realizándose de forma directa en edificios la combustión de recursos fósiles que representaron alrededor de un tercio del consumo total. Además, la construcción de edificios representó otro 11 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético.

Ante esta situación, urge promover la reducción del uso de combustibles fósiles en edificios. La creación y ejecución de modelos energéticos autónomos alimentados por energías renovables es urgente. Las tecnologías de captación y producción necesarias se han desarrollado profusamente en los últimos años, y surgen instalaciones cada vez más eficientes y adaptables a diferentes escalas, tipologías y entornos. Esto permite aumentar las posibilidades y oportunidades de adecuarlas a proyectos de diversa índole. Edificios de consumo y emisiones 0<sup>6</sup> contribuirán al reparto de la vasta inversión que se precisa en materia de energía renovable, produciéndose una división en microproyectos energéticos.

Las normativas internacionales de edificación ya han comenzado a regular ciertos parámetros relativos al consumo energético de edificios, en aspectos tales como

- 
5. Este informe fue preparado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) para la Alianza Mundial para la Edificación y la Construcción (GABC) y publicado por ONU Medio Ambiente. Documenta las visiones globales sobre la viabilidad de lograr un futuro de energía 100 % renovable para mediados de siglo, concentrando la atención en el impacto que supone la construcción en los consumos energéticos globales.
  6. Los edificios de balance 0 consumen la misma energía que producen, siendo ésta de origen renovable, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> vertidas al medio son nulas. El modelo habitual de este tipo de edificios es mediante un sistema autónomo energético, no dependiendo de las redes generales de electricidad ni, por supuesto, del acopio de combustibles fósiles.

el control del aislamiento térmico, la limitación de demandas energéticas o la obligatoriedad de incluir sistemas alimentados por recursos renovables. Sin embargo, las posibilidades de aplicación en edificación de fuentes alternativas son muy amplias, en contraste con los limitados requerimientos normativos. Arquitectos, ingenieros y técnicos tienen la oportunidad de realizar un acto de responsabilidad y adelantarse con sus propuestas a las inercias políticas.

La inclusión de instalaciones energéticas renovables en edificios supone un reto añadido en el proceso de diseño. Esto se debe a que las peculiaridades de los sistemas de captación y su impacto en el proyecto son factores determinantes que influirán en el resultado formal. De esta manera, se hace necesaria la reflexión sobre estas instalaciones desde el mismo momento en que se genera conceptualmente el proyecto. La presencia que suponen en cubiertas, fachadas o exteriores se convierte, entonces, en una oportunidad de diseño.

Las energías renovables susceptibles de ser aplicadas en proyectos de arquitectura e ingeniería son la solar, la eólica, la biomasa, la geotermia y la hidráulica. No se consideran la energía undimotriz —u olamotriz— ni la energía nuclear, debido a que ambas revisten gran complejidad y no tienen vocación de ser incluidas como instalación complementaria a un proyecto. Además, la energía nuclear, a pesar de no ser de origen fósil, crea problemas muy graves en la gestión de sus residuos, y no se puede considerar una energía limpia.

La energía solar térmica aprovecha el poder calorífico de la radiación solar. La energía eólica, hidráulica y la biomasa captan de forma indirecta la energía del sol mediante los procesos químicos y físicos que este genera en el medio. En el caso de la eólica, el fundamento es la diferencia de presión de aire producido por el cambio de temperaturas por los ciclos día y noche, convirtiendo esta fuerza en energía eléctrica a través de las turbinas de aerogeneradores. La hidráulica aprovecha la energía potencial acumulada por el agua en el proceso de evaporación y condensación, que al precipitarse en lugares elevados alimenta a los ríos. Mediante un salto de agua, generalmente producido por una presa, se produce el movimiento de la turbina y la transformación en energía eléctrica. La biomasa se fundamenta en la extracción mediante combustión de la energía acumulada por el proceso de fotosíntesis en especies vegetales, dando como resultado calor. La única energía estudiada inde-

pendiente del sol es la geotermia, la cual capta el calor acumulado en el interior de la corteza terrestre.

Según la clase de instalación se obtendrá un determinado tipo de energía primaria, la cual podrá ser térmica o eléctrica, para utilizarse de forma directa en el proyecto. Dentro de los sistemas productores de energía primaria térmica tenemos la energía solar térmica, la biomasa y la geotermia. La energía solar fotovoltaica, la hidráulica y la eólica producen de forma primaria energía eléctrica. Mediante procesos secundarios se puede transformar la energía térmica primaria en electricidad o frío, y la energía eléctrica primaria en calor o frío. Estas operaciones siempre suponen una pérdida de rendimiento frente al uso directo de la energía primaria. Las fuentes de energía térmica primaria pueden ser generadoras de electricidad y crear un sistema secundario de transformación mediante turbinas propulsadas por un fluido. Para la implementación de este tipo de sistemas es necesaria una gran cantidad de calor.

En el caso de la energía solar se necesita una instalación de dimensiones industriales. En la geotermia se precisa la disponibilidad de altas temperaturas a profundidades accesibles. La generación de electricidad con biomasa debe estar asociada a una demanda térmica del proyecto, ya que en caso contrario la amortización es muy prolongada.

En los casos de producción primaria térmica (solar térmica, biomasa y geotermia) las aplicaciones más comunes son: el agua caliente sanitaria, la calefacción y la refrigeración por absorción. Según la demanda y la producción de la fuente renovable es posible incorporar la energía térmica producida a procesos industriales, tales como: desecado, tratamientos químicos, generación de vapor, lavado, esterilización o tintado. La energía primaria eléctrica producida (solar fotovoltaica, eólica e hidráulica) es susceptible de ser transformada e inyectada a la red general eléctrica, o bien puede utilizarse de forma directa en el consumo del edificio o del proceso industrial.

Un factor determinante en la instalación de las energías solar y eólica es su discontinuidad. La radiación solar disponible está afectada por el ciclo día y noche y por los intervalos nubosos. De igual manera, la intensidad del viento es variable en función de las condiciones climatológicas. Ambas deben implementarse con un sistema energético de apoyo o mediante un dimensionado de la instalación suficiente y con acumuladores, en el caso de la solar térmica, o baterías, en el caso de la foto-

voltaica y eólica. Sin embargo, cubrir la demanda eléctrica y térmica mediante los paneles fotovoltaicos tradicionales resulta antieconómico (Mueller et al., 2016), por lo que hay que estudiar las necesidades energéticas del edificio y su frecuencia horaria, y determinar la idoneidad del tipo de sistema a instalar y su asociación, si fuera necesario, con otros complementarios, ya sean renovables o no. La energía geotérmica se puede considerar continua, pero es necesario considerar en el diseño la corrección por posible descarga térmica del terreno. Un adecuado cálculo y gestión del aprovisionamiento del combustible permitirá la continuidad del flujo energético de los sistemas de biomasa. Igualmente sucede con la energía hidráulica, debiéndose dimensionar la capacidad de la presa en función de la demanda y los regímenes de lluvias.

Las características de cada instalación, sus captadores y acumuladores condicionan y limitan su incorporación en los proyectos. Para la energía solar, el sistema de captación más extendido son los paneles solares térmicos y fotovoltaicos. Estos paneles deben estar libres de sombras y orientarse correctamente para obtener un buen rendimiento. Las nuevas propuestas tecnológicas disponibles permiten situarlos tanto en cubiertas como en fachadas, pudiéndose organizar directamente sobre el terreno en un huerto solar, siempre que existan las condiciones espaciales. El impacto ambiental es leve cuando se incorporan al edificio, pero en el caso de huertos solares puede ser muy elevado, siendo necesario un estudio profundo de las implicaciones ambientales. La energía eólica capta el viento mediante aerogeneradores, los cuales producen un movimiento rotatorio en una turbina que genera la energía eléctrica.

Es preciso realizar un estudio de impacto ambiental en cualquier caso. Hay que considerar que en instalaciones de escala pequeña con turbinas de reducidas dimensiones se presentan deficiencias, tanto en la producción de energía real como en la seguridad (Pagnini, 2018). La energía hidráulica tiene un fundamento similar a la eólica, siendo la fuerza de una corriente de agua la que mueve la turbina. Esta corriente suele generarse mediante el salto de agua proveniente de una presa construida en el cauce de un río. Existen mini centrales hidráulicas, lo que propicia su uso en proyectos de mediana y gran envergadura, siempre que exista la posibilidad de construir la instalación en una corriente fluvial. Al igual que con la energía eólica, se hace necesario un estudio profundo del impacto ambiental.

La geotermia aprovecha la energía térmica de la corteza terrestre. El calor puede provenir de peculiaridades geológicas que generen altas temperaturas (aguas termales, actividad volcánica, zonas de subducción), pudiéndose también aprovechar la temperatura constante del terreno a partir de diez metros de profundidad, y el aumento de temperatura de 3 °C cada cien metros de profundidad. Existen captadores geotérmicos de gran profundidad y de baja profundidad. En ambos casos, las soluciones consisten en el paso de un fluido por la fuente geotérmica, transmitiéndose la energía a un acumulador o directamente a la red de la instalación térmica. Su impacto ambiental es muy leve, ya que los captadores están bajo tierra sin tener repercusión alguna sobre la superficie.

Deben contemplarse los espacios para los cuartos de bombeo y acumulación, los cuales pueden ser integrados en el espacio proyectual. La energía procedente de la biomasa se genera mediante la combustión en calderas de materia orgánica, liberándose en forma de calor la energía acumulada por el proceso de fotosíntesis. Esta energía es renovable y limpia, siempre que el recurso que se queme sea renovado, ya sea de forma natural o por medio de la agricultura. El CO<sub>2</sub> producido en la combustión vuelve a ser reabsorbido durante el crecimiento del vegetal que sustituye al quemado. La biomasa se puede obtener de los residuos de procesos agrícolas y forestales, así como de procesos industriales.

Para mejorar el rendimiento de las calderas es necesario un proceso de transformación de la biomasa en *pellets* o astilla. Su impacto en el proyecto depende de la disponibilidad espacial para la instalación de las calderas y de los silos de provisión. Debe existir un plan de gestión de los gases producidos en la combustión, de manera que no se produzcan efectos perniciosos en la salud. Habitualmente, la normativa limita la cantidad y calidad de este tipo emisiones. Esta energía, por su facilidad de acopio y la sencillez de instalación, es un buen recurso complementario a un sistema de energía solar térmica.

Según el tipo de instalación los factores de diseño varían. Para una instalación solar, ya sea térmica o fotovoltaica, se deben tener en cuenta las horas de sol, la potencia solar, la latitud del lugar y los obstáculos que producen sombra. En el caso de la energía eólica los factores a contemplar en el diseño son la intensidad y frecuencia de los vientos, su componente cardinal y la existencia de obstáculos. En las instala-

ciones hidráulicas se considerará el caudal del río y el relieve topográfico (para poder realizar el salto de agua).

El diseño geotérmico vendrá determinado por la cantidad de calor y la profundidad a que se encuentra, mientras que la instalación de biomasa se definirá en función de la cantidad de combustible disponible y el poder calorífico de éste. En todos los casos existe el limitante espacial o circunstancial que impone el proyecto donde han de implantarse, pudiendo existir también restricciones normativas o ambientales.

Los factores que determinan la elección de una energía renovable en un proyecto dependen del tipo y potencia de energía demandada, de la accesibilidad del recurso, de la capacidad espacial del proyecto para acoger los componentes de la instalación y del costo económico y periodo de amortización. La combinación entre distintas fuentes renovables y el apoyo de combustibles fósiles pueden conjugarse con diferentes coeficientes de participación, para obtener un resultado equilibrado entre la sostenibilidad ambiental y el factor económico.

Los estudios de amortización realizados a largo plazo inclinan la balanza económica hacia el uso de energías renovables, ya que el precio de los combustibles fósiles se está disparando en los últimos años. El problema energético mundial es tan grave que comienza a ser caro mantener el modelo del siglo xx.

El objetivo principal de esta investigación es caracterizar, predimensionar y valorar económicamente la instalación de las diferentes energías renovables en un proyecto de arquitectura o ingeniería, con el fin de estudiar su viabilidad. Se propone un método de predimensionado sencillo para cada energía renovable, determinándose si las condiciones del lugar y del proyecto permiten la instalación. La estimación del costo económico y amortización de las distintas instalaciones permitirá que los resultados sean comparables y ponderables.

### *Materiales y métodos*

El estudio es de carácter descriptivo, componiéndose de cinco fases. La fase 1 comprende la comprobación de la disponibilidad del recurso renovable. La fase 2 consiste en el predimensionado de las instalaciones energéticas que pueden ser implementadas. En la fase 3 se realiza el cálculo del espacio necesario en el proyecto. La

fase 4 estudia la complementariedad entre energías renovables. Por último, la fase 5 se ocupa del estudio comparativo económico de las distintas energías renovables con las no renovables.

A efectos de la investigación y de la amortización del gasto se considera un periodo de diez años. La vida útil de los sistemas energéticos, en cualquiera de las fuentes renovables estudiadas, es superior a esta duración, por lo que dentro de la amortización de este periodo no se hace necesaria una renovación completa de equipos, conducciones e instalaciones complementarias. El periodo más bajo de vida útil a máximo rendimiento, es el de los paneles solares térmicos, que pasado este tiempo de diez años comienzan a perder eficiencia y puede ser necesaria su sustitución.

La comprobación de la existencia del recurso renovable se realizará mediante la prospección de diferentes datos según el tipo de energía. Para la energía solar se utilizará el valor de radiación solar anual media en el lugar. Dicho dato se puede obtener del Global Solar Atlas<sup>7</sup>. Al realizar el cálculo definitivo se deben utilizar los datos mensuales y horarios, de forma que se puedan comprobar las demandas y aportes según las variaciones de producción.

En el caso de la energía eólica se tomará el dato de la intensidad y el de frecuencia del viento en el emplazamiento del proyecto. Para una aproximación menos exacta se pueden obtener los datos de una estación meteorológica cercana, siendo imprescindible para el diseño final la medición *in situ*. En la energía hidráulica, existiendo río cercano y aprovechable, se debe considerar el caudal del río por estaciones y la altura del salto que se puede implementar en la presa. En el predimensionado de calderas de biomasa se tendrá en cuenta el combustible disponible, su poder energético y la cantidad y estacionalidad de su producción.

Si el proyecto y su entorno generan biomasa, este recurso toma especial relevancia para ser incluido en caso de existir demanda de energía térmica. De no ser así, se debe estudiar la actividad agrícola e industrial de la zona para determinar si se produce biomasa en forma de residuo o como producto final en alguno de sus procesos. En la energía geotérmica el primer paso a realizar es una prospección amplia de la

---

7. Global Solar Atlas es un recurso cartográfico de radiación solar global proporcionado por el Banco Mundial. En él se pueden encontrar mapas de todos los lugares del mundo y obtener los datos necesarios para predimensionar y posteriormente calcular las instalaciones solares.



zona de implantación del proyecto en busca de actividad volcánica o aguas termales. Su existencia nos sugiere la existencia de altas temperaturas a baja profundidad. En ausencia de actividad geológica térmica se puede optar por el aprovechamiento de la inercia térmica del terreno y su mayor temperatura según aumenta la profundidad. Para un estudio más detallado, en ambos casos se debe realizar una prospección geológica que determine las temperaturas y tipos de suelo a diferentes profundidades.

Los datos de partida para realizar los predimensionados de las distintas instalaciones energéticas son los consumos eléctricos, caloríficos y de refrigeración demandados por el proyecto, todos expresados en kWh durante el periodo estudiado. Se deben establecer los consumos por horas, días semanales y meses, a fin de conocer de forma precisa en qué momentos se produce la demanda.

Cada energía puede responder a la demanda completa o parcial de uno o todos los tipos de consumos. Con energía solar fotovoltaica se podrán cubrir de forma primaria las potencias eléctricas y de forma secundaria las de calor y de frío (alimentando eléctricamente los equipos de calefacción y refrigeración). La energía solar térmica provee de forma primaria a la demanda calorífica, pudiendo en algunos casos aportar a la demanda de refrigeración mediante instalaciones de frío solar. La energía eólica y la hidráulica, al igual que la fotovoltaica, pueden cubrir de forma primaria la demanda eléctrica, y secundariamente las de calor y frío. La biomasa y la energía geotérmica suministran energía calorífica de manera primaria, pudiendo producir de forma secundaria frío y electricidad.

Una vez seleccionadas las energías susceptibles de ser aplicadas en el proyecto se procederá al predimensionado de las instalaciones para dar respuesta a cada demanda energética. El cálculo se realiza sobre la producción primaria, debiendo realizar un posterior cálculo para obtener los aportes secundarios en los casos que fueren pertinentes.

La fórmula para predimensionar las instalaciones solares es la siguiente:

$$E = Nc \times Sc \times Rc \times F \times Hs$$

Donde, E es la energía producida por la instalación expresada en kWh en el periodo estimado, Nc es el número de captadores, Sc es la superficie del captador expresada en m<sup>2</sup>, Rc es el rendimiento del captador, F es la energía media aportada

por el sol en el periodo estimado, expresada en kW/m<sup>2</sup> y Hs es la media de horas de sol en el periodo estimado. Para la fotovoltaica el valor E representará potencia eléctrica (kWh) mientras en la térmica corresponde a potencia calorífica (kWth). En el caso de instalaciones eólicas se aplica la siguiente fórmula:

$$E = N_a \times S_a \times R_a \times D \times H_v$$

Donde, N<sub>a</sub> es el número de aerogeneradores, S<sub>a</sub> es la superficie de captación del aerogenerador en m<sup>2</sup>, R<sub>a</sub> es el rendimiento del aerogenerador (adimensional), D es la densidad de potencia del viento media en el periodo estimado, expresada en kW/m<sup>2</sup> y H<sub>v</sub> es el número de horas del periodo estimado con vientos superiores a 2 m/s. Para las instalaciones hidráulicas se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = N_t \times S_t \times R_t \times A \times H_h$$

Donde, N<sub>t</sub> es el número de turbinas, S<sub>t</sub> es la superficie de captación de las palas de la turbina en m<sup>2</sup>, R<sub>t</sub> es el rendimiento de la turbina, A es la potencia cinética del salto de agua expresada en kW/m<sup>2</sup> y H<sub>h</sub> es el número de horas del periodo estimado. Para el predimensionado de la instalación geotérmica de gran profundidad se sigue el método alemán especificado en la norma VDI 4640 y no se estima la velocidad en el flujo de agua subterránea debido al aumento de costo operacional en condiciones fuera del diseño (Samson et al., 2018). Para que sea de aplicación, la instalación debe cumplir las siguientes condiciones: menos de 30 kW de potencia, pozos verticales con profundidades comprendidas entre los 40 m y 100 m y distancias mínimas entre sondeos de 5 m para profundidades entre 40 m y 50 m, y de 6 m en sondeos de 50 m a 100 m. La fórmula para predimensionar una instalación geotérmica es la siguiente:

$$E = N_g \times Z_g \times C_e \times T$$

Donde, N<sub>g</sub> es el número de captadores geotérmicos, Z<sub>g</sub> es la profundidad de los captadores, C<sub>e</sub> calor específico extraíble medio expresado en W/m en función del tipo de suelo y del periodo de extracción, y T es el tiempo estimado de extracción expresado en horas. Mediante un estudio geotécnico con prospecciones profundas se puede obtener el tipo suelo existente en los distintos estratos. Mediante la siguiente tabla, extraída de la norma alemana VDI 4640 se puede obtener el valor C<sub>e</sub>.

Tabla 1. Extracción de calor según tipo de suelo

Tipo de suelo	Caudal específico de extracción de calor	
	Periodo de operación 1.800 h.	Periodo de operación 2.400 h.
<i>Valores indicativos generales:</i>		
Subsuelo pobre (sedimento seco y $\lambda < 1,5$ W/(m K))	25 W/m	20 W/m
Subsuelo normal y sedimento saturado de agua $1.5 < \lambda < 3,0$ W/(m K)	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada con conductividad térmica alta $\lambda > 3,0$ W/(m K)	84 W/m	70 W/m
<i>Valores individuales del suelo:</i>		
Grava o arena seca	< 25 W/m	< 20 W/m
Grava o arena saturada con agua	65 a 80 W/m	55 a 65 W/m
Grava o arena y fuerte caudal de agua subterránea	80 a 100 W/m	80 a 100 W/m
Arcilla húmeda	35 a 50 W/m	30 a 40 W/m
Piedra caliza masiva	55 a 70 W/m	45 a 60 W/m
Arenisca	65 a 80 W/m	55 a 65 W/m
Silicio de magmatita	65 a 85 W/m	55 a 70 W/m
Magmatita básica	40 a 65 W/m	35 a 55 W/m
Diorita	70 a 85 W/m	60 a 70 W/m

Fuente: Norma Alemana vDI 4640

El predimensionado de la instalación con calderas de biomasa se calcula en función de la siguiente fórmula:

$$E = N_h \times C_h \times P_b \times R_h \times H_b$$

Donde,  $N_h$  es el número de calderas.  $C_h$  es la capacidad en  $m^3$  de la caldera,  $P_b$  es la capacidad calorífica de la biomasa, expresada en  $kW/m^3$ ,  $R_h$  es el rendimiento de la caldera  $H_b$  es el número de horas de funcionamiento en el periodo estimado.

Todos los datos deben ser obtenidos de los estudios del lugar y de las características técnicas de los componentes de la instalación. La potencia demandada se incluirá en la fórmula, de manera que al despejar obtendremos el número de elementos necesarios para esa instalación. Conociendo las dimensiones de los componentes

se podrá estudiar si la instalación es compatible espacialmente con el proyecto. Hay que incluir el espacio necesario para los equipos de gestión, acumulación y distribución de las energías.

El estudio espacial y circunstancial del proyecto puede imponer límites a las dimensiones de cada instalación, sobre todo hablando de energía solar, eólica e hidráulica. Esto influye en sus aportes máximos energéticos. La geotermia y la biomasa tienen una afección espacial mucho menor, y su ubicación en un proyecto es más asumible. Además, las energías solar y eólica no son continuas, y tienen afecciones horarias y estacionales. Por todo ello, hay que contemplar la combinación de distintas energías para llegar a un aporte de renovables máximo. El uso de baterías y acumuladores puede ayudar a aumentar el porcentaje de participación de las energías eólica y solar, pero crea un aumento considerable del precio, que afecta negativamente la amortización.

Una vez establecido el aporte máximo de la fuente renovable por limitaciones espaciales, se realiza el estudio de periodicidad de la contribución y consumo de energía. En función del uso del edificio y los periodos de demanda de las potencias se crearán tablas diarias, semanales y mensuales, confrontando los datos de consumo con la producción estimada. En ellas se podrá observar la eficiencia de aporte de las energías no continuas a la demanda, esclareciéndose en qué periodos se prevé insuficiente el recurso. El déficit en los periodos de carestía se tendrá que suplir con otra energía. De estos estudios se obtendrán unos coeficientes de participación iniciales que serán puestos en crisis en el estudio económico. En la *tabla 2* se muestra la herramienta para estudiar la periodicidad y complementariedad entre energías renovables en los periodos estimados, pudiéndose considerar por horas diarias, por semana o por mes.

Tabla 2. Estudio de la periodicidad

Energía renovable:	Periodos de tiempo							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	....
Demanda. D								....
Aporte. A								....
Déficit: D - A								....
Coeficiente de participación: A/D								....

Fuente: Elaboración propia

La estimación económica se realiza contemplando el periodo diez años. En ella se incluirá el precio de instalaciones de energías no renovables, ya sean alimentadas por la red eléctrica general o por equipos de gas o gasoil. De esta manera se obtiene una visión ampliada de lo que supone la instalación renovable y su amortización, frente a las alimentadas por recursos fósiles. El costo estimado de las instalaciones se calculará a través de los datos obtenidos en el predimensionado, los cuales aportan la dimensión y potencia de la instalación.

El costo económico se obtendrá mediante la suma de precios que suponen los gastos de cada instalación en el periodo de diez años. Se consideran los costos de la instalación completa, de su mantenimiento durante ese periodo, de los consumos de sistemas auxiliares y de la reducción de precio por la incentivación económica pública o privada. Así se definirá el precio global en función de su aporte al proyecto en el periodo de diez años. Inicialmente se debe realizar el cálculo en cada tipo de energía renovable suponiendo su aporte máximo según la limitación espacial. La *tabla 3* muestra la estructura del método comparativo económico. Es necesario realizar una tabla para cada tipo de energía demandada, ya sea eléctrica, calorífica o refrigeración.

Tabla 3. Estudio económico

Energía	Potencia demandada. $E_d$	Potencia aportada. $E_a$	Coefficiente de participación: $E_a/E_d$	Precio de la instalación. $P_i$	Precio de consumos eléctricos. $P_e$	Precio de mantenimiento. $P_m$	Ayudas, subvenciones, rebajas fiscales. $P_a$	Total: $P_i + P_e + P_m - P_a$
Solar térmica								
Solar fotovoltaica								
Eólica								
Biomasa								
Geotermia								
Energía eléctrica								
Combustible fósil								
Totales								

Fuente: Elaboración propia

Ya conocidas las limitaciones espaciales, de periodicidad y circunstanciales de cada energía, así como el precio y amortizaciones, se está en condiciones de realizar los repartos de participación de cada sistema. En este punto el proceso se vuelve iterativo. Se partirá de una combinación máxima de energías renovables para suplir cada demanda, realizando modificaciones en función de las limitaciones económicas, de tal manera que se obtenga un buen balance entre la parte ambiental y económica.

### *Resultados y discusión*

El resultado de esta investigación es una sencilla herramienta metodológica que permite analizar la viabilidad de cada energía renovable, desde los aspectos más fundamentales de capacidad espacial del proyecto, cuantificación del recurso y costo económico de la instalación. Al tratarse los cálculos y predimensionados como estimaciones, existe un margen de error respecto a los diseños definitivos, los cuales requieren para su realización una gran inversión de tiempo y dinero. Para efectos comparativos resultan de gran utilidad estas aproximaciones, que servirán de guía hacia el emprendimiento de estudios más concienzudos. El carácter amplio y versátil del método permite aplicarlo en cualquier tipo de proyecto.

Los datos necesarios para realizar los predimensionados son, en general, de fácil acceso. En los casos de energía solar y eólica se pueden obtener mediante los reportes de una estación meteorológica cercana y los mapas de sol y viento disponibles para gran parte de los territorios habitados mundialmente. Una medición *in situ* siempre será mucho más exacta, sin embargo, requiere el transcurso de un año completo para tener datos significativos. En el caso de la energía hidráulica es necesario realizar un cálculo del caudal del río por estaciones y poseer un mapa topográfico de la zona. Con la medición del caudal en unos días determinados es posible, mediante el estudio de los regímenes de precipitaciones, estimar el caudal a lo largo del año. Para el predimensionado de la geotermia es imprescindible realizar un estudio geotécnico, pudiendo aprovechar el necesario para el diseño y cálculo de la cimentación, solicitando unas prospecciones más profundas en ciertos puntos. Con el tipo de suelo se puede determinar la cantidad de calor disponible, pero la toma de temperaturas a distintas profundidades permitirá manejar información mucho más

precisa. En la producción de energía a través de biomasa se debe obtener la información de bases de datos locales sobre la actividad industrial y agrícola. En caso de no existir, se hace preciso un estudio de campo para determinar las cantidades y tipos de biomasa disponibles.

Las características referentes a los equipos, tanto de dimensión, rendimiento y costo, se pueden conseguir a través de los proveedores y empresas instaladoras o, si existen, de un banco de precios local. De igual forma deberán proporcionar un cálculo aproximado de la ocupación de sistemas auxiliares, acumuladores, cuartos de bombeo o silos. En el caso de diseñadores habituados a este tipo de instalaciones, dichas estimaciones podrán ser generadas de forma interna.

Para completar la tabla final económica es necesario conocer los costos de mantenimiento y consumos de las instalaciones. Dichos datos se obtienen de las fichas técnicas de los productos, de los proveedores e instaladores. La inclusión de las opciones con energías provenientes de combustibles fósiles obliga —para que la amortización responda fielmente a la realidad—, a considerar los incrementos anuales de costos de abastecimiento, tanto de la electricidad proveniente de la red como de gas o gasoil.

Hasta el predimensionado, el método trabaja con la unidad kWh, que supone una medida de consumo. Esta magnitud permite realizar estudios pormenorizados de periodos de tiempo de consumo, pudiendo ajustar los aportes temporales de cada instalación renovable. Los resultados obtenidos, una vez aplicada la herramienta sobre un proyecto, vienen dados en unidades de moneda, de manera que reflejan el monto total estimado que supone cada instalación en el periodo de 10 años. La dimensión de las variables comparadas permite generar una idea concreta de lo que suponen cada instalación, tanto energética como económicamente.

El proceso debe ser bidireccional y flexible, probando con las diferentes posibilidades para generar diferentes tablas comparativas. Los resultados serán procesados por el diseñador, quien incluirá parámetros no contemplados en el estudio que respondan a las complejidades del lugar y el proyecto. Como en todo proceso de diseño, el ingenio y la inspiración del autor serán factores determinantes en el éxito, así como la experiencia en el trabajo con este tipo de tecnologías alternativas.

Dentro del método de estudio de viabilidad propuesto existen varias limitaciones a tener en cuenta. Por un lado, no se incluye el predimensionado de geotermia

a baja profundidad, debido a la complejidad de obtener un sistema sencillo de cálculo para este tipo de instalaciones. Tampoco se contempla el predimensionado de instalaciones para transformar la energía primaria térmica en energía secundaria eléctrica, ya que las divergencias entre los resultados obtenidos y la realidad pueden ser inadmisibles. El método es válido para los sistemas más habituales de energías renovables, pero no contempla otras instalaciones de carácter más inusual, como puede ser las esferas solares o la captación eólica mediante velas. Es válido para los siguientes equipos de energías renovables: paneles solares térmicos, tubos de vacío, paneles solares fotovoltaicos, aerogeneradores de ejes vertical y horizontal, mini centrales hidráulicas a pie de presa, calderas de biomasa de baja y mediana potencia y geotermia de captación vertical.

Los resultados obtenidos en circunstancias urbanas vendrán determinados por unos grados de libertad muy limitados. Es por ello que probablemente podamos implementar un máximo de dos energías renovables, siendo complicado que se pueda satisfacer toda la demanda de las potencias térmicas y eléctricas. Se hará necesario complementar con energías procedentes de recursos fósiles, normalmente de la red eléctrica general. Sin embargo, en ambientes rurales y no urbanizados las posibilidades se multiplican. La abundancia de espacio y las menores restricciones urbanísticas permiten un mayor número de posibilidades. Las energías eólica e hidráulica pueden desarrollarse con seguridad y eficiencia en este tipo de entornos, siempre que existan las condiciones indicadas.

La biomasa estará mucho más disponible que en la ciudad y existirán mayores superficies dónde colocar paneles solares. El espacio para realizar sondeos geotérmicos será más amplio y el mayor campo de acción permitirá seleccionar con más eficacia el terreno a perforar. En general, será de muy difícil consecución edificios de balance energético 0. En ambientes urbanos consolidados, las limitaciones urbanísticas y la búsqueda de la rentabilidad serán obstáculos importantes. Pero los objetivos pueden ser parciales, siendo el aporte energético renovable del edificio una participación en las demandas totales.

La combinación entre distintas energías podrá otorgar un buen balance ambiental y económico, pero la aplicación de más de dos sistemas renovables en un mismo proyecto, generalmente, desestabilizará el equilibrio aumentando los costos del proyecto.



El presente trabajo contribuye a incentivar la inclusión de energías renovables en proyectos de ingeniería y arquitectura, proporcionando una manera sencilla y rápida de obtener, de forma aproximada, la viabilidad de cada una de las instalaciones renovables.

La sistematización para encarar el problema energético en un edificio proporciona orden y magnitud a la comparativa de las distintas soluciones posibles. Es de suma importancia contemplar las opciones de abastecimiento a través de combustibles fósiles, sobre todo en lo económico. Las instalaciones que se nutren de energías renovables cuentan, habitualmente, con un elevado costo inicial. Este hecho genera un rechazo evidente al inversionista. Sin embargo, a través del cuadro de amortización esta diferencia se puede invertir. Este estudio permite evidenciar dicho aspecto a técnicos e inversores, ya que el pensamiento a corto plazo puede resultar extremadamente caro en lo económico, más allá del precio ecológico, ambiental y de salud.

Se sugiere la creación de una herramienta práctica de diseño de fácil manejo, como una hoja de cálculo o una interfaz gráfica de usuario, que integre todos los procesos de la metodología presentada, pudiendo simular distintos escenarios y comprobar las repercusiones económicas en el proyecto. Dicha herramienta puede trabajar en un entorno BIM, de manera que se puedan simular volúmenes, espacios, fachadas o cubiertas, o trabajar directamente con el modelo arquitectónico. Una investigación posterior, más profunda y avanzada, puede permitir la creación de un programa informático que se cruce con los principales datos climáticos, técnicos y económicos de la geografía mundial, actualizándose de forma automática y reduciendo o eliminando las limitaciones de este estudio. Esto simplificaría enormemente el proceso y daría un mayor rigor a los resultados.

Los resultados de este documento son una herramienta útil para los diseñadores en fase de proyecto, no siendo en ningún caso una guía técnica de diseño de las distintas energías renovables. Es un recurso sencillo que orientará estudios más profundos sobre la implantación de energías renovables en un edificio. La mastodóntica estructura global que nos envuelve se puede cambiar mediante acciones pequeñas en todos los ámbitos de la vida. Los inversores, técnicos y diseñadores tenemos la enorme responsabilidad de estar comprometidos con un problema que nos afecta poco ahora, pero que seguramente afectará de manera trágica en un futuro no tan lejano. Las soluciones no provienen de los políticos, las leyes o las subvenciones,

sino de la actitud y el optimismo de todos los individuos que conformamos esta enorme comunidad global.

## Referencias

- Blanco J. (2016). *Usando la biomasa forestal como una fuente de energía sostenible*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Cucó S. (2017). *Manual de energía eólica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Denny K. (2016). *Process Development and Resource Conservation for Biomass Conversion Systems*. Chichester: Wiley.
- Ghani & Tahour A. (2016). *Wind Turbines: design, control and applications*. Rijeka: In Tech.
- Mueller A., Orosz M., Narasimhan A., Kamal R., Hemond H., Goswami Y. (2016). Evolution and feasibility of decentralized concentrating solar thermal power systems for modern energy access in rural areas. *MRS Energy & Sustainability*, (4), 1–32.
- Norma Alemana (2009). VDI 4640.
- Ortiz R. (2011). *Hidráulica: generación de energía*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Pagnini L., Piccardo G., Repetto M. (2018). Full scale behavior of a small size vertical axis wind turbine. *Renewable Energy*, (127), 41–55.
- Samson M., Dallaire J., Gosselin L. (2018). Influence of groundwater flow on cost minimization of ground coupled heat pump systems. *Geothermics*, (73), 100–110.
- Tobajas C. (2015). *Energía solar para instaladores*. 5ª edición. Barcelona: Cano Pina.

---

## Cómo citar este eBook

[APA 6a ed. Libro completo]

Sánchez-Cano, J. E., comp. (2019). *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático*. Disponible en: [www.ujed.mx](http://www.ujed.mx)

[APA 6a ed. Ejemplo de capítulo]

Casado-López, G. y Gea-Izquierdo, E. (2019). La estrategia bioclimática como base para una gestión energética de excelencia. En Sánchez-Cano, J. E., comp. *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático* (pp. 164-179). Disponible en: [www.ujed.mx](http://www.ujed.mx)

[Chicago 16a ed Libro completo]

Sánchez Cano, Julieta Evangelina, comp. 2019. *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático*. Durango: Universidad Juárez del Estado de Durango / El Colegio de la Frontera Norte. PDF e-book.

[Chicago 16a ed Ejemplo de capítulo]

Casado-López, Guillermo, y Enrique Gea-Izquierdo. 2019. La estrategia bioclimática como base para una gestión energética de excelencia. En *Desarrollo sostenible de zonas áridas y semiáridas frente al cambio climático*. Durango: Universidad Juárez del Estado de Durango / El Colegio de la Frontera Norte. PDF e-book.