



## 1 INTRODUCCIÓN

El Ayuntamiento de Durango lleva años apostando por la sostenibilidad en sentido amplio, como demuestra su adhesión en 2002 a los principios de la Carta de Aalborg [1], la elaboración de su Agenda Local 21 [2], iniciada en 2005 y con un Plan de Acción 2013-2020. Actualmente el Ayuntamiento se encuentra en proceso de redacción del Plan General de Ordenación Urbana, y por tanto en plena reflexión sobre el modelo de ciudad y la estrategia de actuación en el suelo urbano consolidado.

En este contexto, el Ayuntamiento de Durango es consciente de su importante papel ejemplarizante, no sólo en cuanto al impulso de las actuaciones en su parque edificado, sino también desde la promoción de la rehabilitación del parque residencial y la regeneración urbana. Es por ello un momento propicio para incorporar las medidas de fomento de las energías renovables y la mejora de la eficiencia energética a través de la rehabilitación del parque público y residencial.

Desde esta perspectiva, se plantea la vinculación de la actuación sobre los edificios de propiedad municipal en Durango con la regeneración de las áreas residenciales más necesitadas de rehabilitación, a través del concepto de “nodo energético” impulsado por tecnologías renovables y la delimitación de distritos asociados a cada edificio municipal según criterios urbanísticos y edificatorios.

Para ello se desarrolla un estudio energético de los edificios públicos y residenciales de Durango y el potencial de integración de energías renovables en los mismos, a través de una herramienta con visualización en base GIS. Dicha herramienta desarrollada por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico TECNALIA, contiene diversos componentes de cálculo que permiten la obtención de resultados e indicadores georreferenciados respecto al recurso solar disponible, la demanda y el consumo energético de los edificios, y el potencial de despliegue renovable y reducción de emisiones de efecto invernadero.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es evaluar el potencial impacto del despliegue de energías renovables en la reducción de consumos y emisiones del municipio de Durango, donde los edificios públicos actúen como nodos energéticos de distrito. Este estudio cuantifica, a través de una herramienta con visualización en base GIS (Sistemas de Información Geográfica), la huella energética y ambiental de los sectores residencial y público, identifica posibles áreas prioritarias y propuestas de actuación en función de la viabilidad técnico-económica, las inversiones asociadas y las posibles fuentes de financiación. Así mismo, este estudio proveerá conclusiones y recomendaciones para el Plan Director 2020-2030.

En síntesis, los dos objetivos a alcanzar sucesivamente son: (i) desarrollo de una herramienta de toma de decisiones; (ii) recomendaciones para el Plan Director 2020-2030 para el despliegue de energías renovables en el municipio.

## 3 METODOLOGÍA Y FASES



Para abordar las necesidades planteadas en los puntos anteriores, se han considerado 3 fases principales:

- Fase 1 – Análisis previo y puesta en marcha de los trabajos
- Fase 2 – Desarrollo de la herramienta de toma de decisiones
- Fase 3 – Análisis de los resultados, recomendaciones y conclusiones para el Plan Director

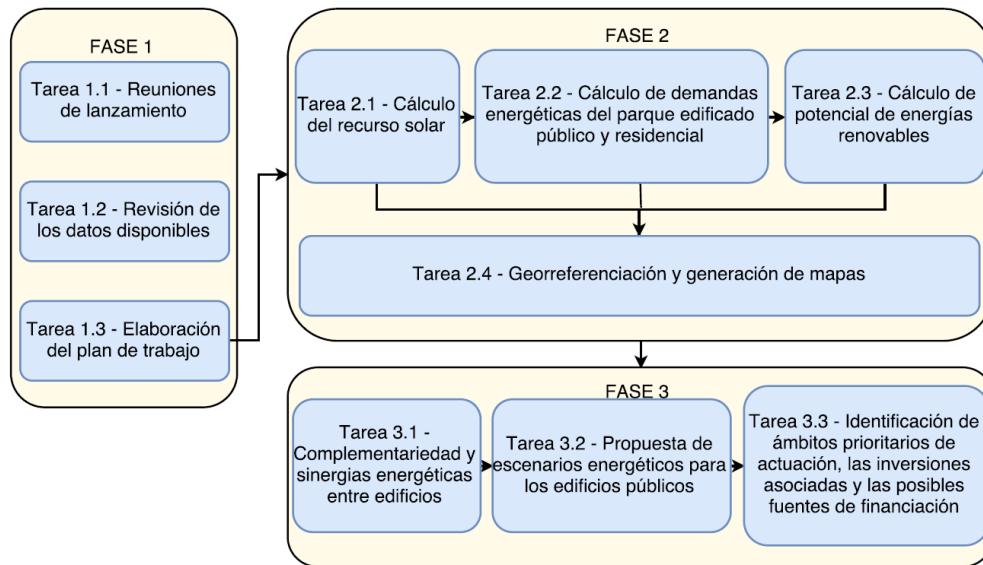


Figura 1: Fases y tareas (fuente: elaboración propia)

Las dos fases principales comienzan ajustando el plan de trabajo tras una serie de reuniones con el equipo municipal y el pre-análisis de los datos y fuentes de datos disponibles. Tras lo cual comienza la segunda fase, eminentemente técnica, en la que se desarrollan los componentes de cálculo, cuyos resultados se plasman en una serie de mapas de indicadores georreferenciados de demanda, consumo y emisiones de los edificios, recurso solar disponible y potencial renovable. En la última fase, los resultados de modelización se interpretan en el contexto de distrito, poniendo el foco en el potencial de los edificios públicos como elementos tractores de la rehabilitación de la edificación residencial y la regeneración urbana y el despliegue de energías renovables en Durango, extrayendo recomendaciones y conclusiones para el Plan Director del municipio en este ámbito.

### 3.1 Fase 1: Análisis previo y puesta en marcha de los trabajos

Trabajando con los correspondientes departamentos municipales, se recaban los datos georreferenciados de las fuentes de información catastral y cartográfica. El grado de complejidad de los resultados alcanzables depende en gran medida del nivel de detalle y la veracidad de la información contenida en los datos recogidos durante esta tarea.

Para conseguir unos niveles de detalle y fiabilidad elevados es necesario realizar un proceso de adecuación y revisión de los datos de entrada. El objetivo de este proceso es

disponer de geometría detallada a nivel de edificio (o parcela en su defecto) y la mayor cantidad de información semántica asociada a dicha geometría (por ejemplo: geolocalización del edificio, altura, número de plantas, área de la cubierta, superficie total, antigüedad del edificio, tipo de uso, si ha sido rehabilitado, etc.). Los datos necesarios son complementados con fuentes adicionales de información como referencias bibliográficas y trabajo de campo.

### 3.2 Fase 2: Desarrollo de la herramienta de toma de decisiones

En la presente fase, se desarrolla la herramienta de toma de decisiones y todos los componentes de cálculo necesarios para generar los diversos indicadores a representar en la base de información geográfica [3], los cuales a su vez posibilitarán un análisis fundamentado para las recomendaciones del futuro Plan Director.

Los resultados obtenidos en esta fase se entregan en formato GIS (abierto y de libre acceso) permitiendo realizar filtrados y análisis de los resultados obtenidos.

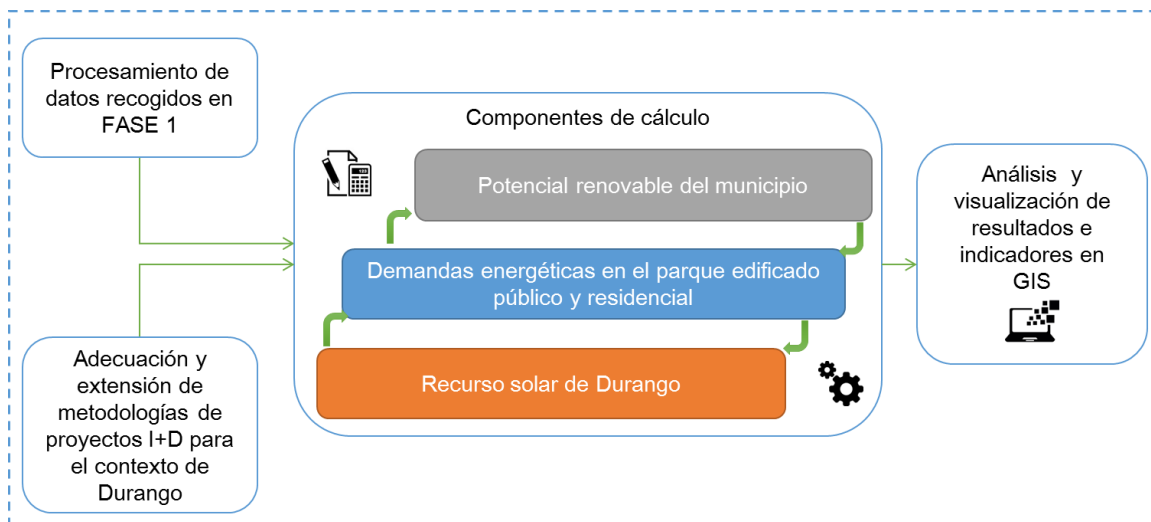


Figura 2: Metodología de desarrollo de los componentes de cálculo (fuente: elaboración propia)

#### 3.2.1 Cálculo del recurso solar

Cuantificar el recurso solar incidente sobre superficies de los edificios y zonas urbanizadas comunes permite tanto una posterior evaluación de tecnologías renovables ajustadas a las características del entorno, como establecer el comportamiento energético base de referencia del parque edificado sobre el que actuar. Por tanto, un cálculo de recurso solar fidedigno, que considere la particular orografía, entramado urbano de Durango y sombreado entre elementos constructivos o naturales, sirve como punto de partida de los siguientes componentes de cálculo.

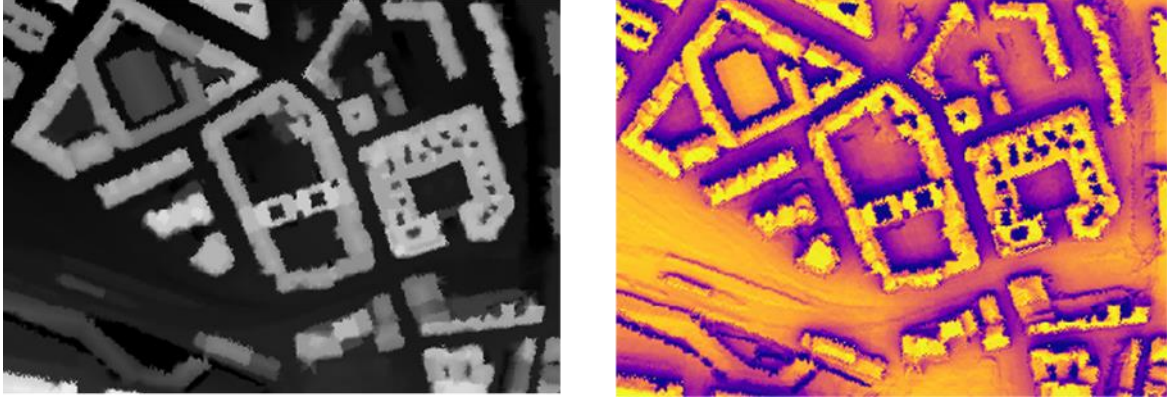


Figura 3: Calculo de recurso solar en Durango (fuente: elaboración propia)

Para ello se parte del modelo digital de superficie (DSM) obtenido a partir de datos LiDAR, que representa de forma detallada altura de los edificios y elementos naturales. Por otra parte, se cuenta también con la información climática de la zona incluyendo radiación solar directa y difusa. El análisis mediante sistemas de información geográfica permite calcular la irradiación solar sobre las cubiertas de los edificios teniendo en cuenta el grado de sombreado de cada superficie.

### 3.2.2 Cálculo de demandas y consumos energéticos del parque edificado público y residencial

En el contexto legislativo/regulatorio actual, y tras la reciente aprobación del RD-ley 15/2018 [4], estudiar de manera interdependiente la demanda energética de edificios y distritos y la generación energética renovable in-situ, es un requisito clave para una evaluación fidedigna del potencial de aprovechamiento de instalaciones renovables integradas en edificios [5].

Por tanto, esta tarea del proyecto, tiene como objeto la obtención de curvas de demanda/consumo de energía térmica y eléctrica en base horaria de los edificios municipales y residenciales del municipio de Durango. Esta aproximación, permite por una parte sacar el máximo provecho a la generación de las renovables, especialmente aquellas condicionadas por las condiciones meteorológicas instantáneas (solar fotovoltaica y solar térmica) y una gestión eficiente a nivel de distrito que permita optimizar la demanda y generación de los edificios del distrito. Este nivel de desagregación contribuye a identificar:

- La complementariedad en el consumo de los distintos perfiles de uso
- El posible aprovechamiento de las instalaciones ya existentes.
- Una posible agrupación de edificios para aprovechar las sinergias de generación y consumo
- Y el pre-dimensionamiento de los posibles sistemas de generación renovable

El cálculo de las curvas de demandas/consumos con resolución horaria se obtiene de:

- monitorización energética de:
  - propias distribuidoras





- monitorización energética específica
- simulación energética

Si bien inicialmente sólo estaba contemplado evaluar el consumo de los edificios en la situación actual, se han incluido los valores tras la rehabilitación según la normativa vigente para evaluar el impacto potencial de las mismas, y su inclusión en los proyectos planteados a nivel de distrito.

Como resultado de esta tarea se obtiene el mapa de demandas/consumos energéticos de los edificios residenciales y municipales en la actualidad y el valor al que llegarían los edificios residenciales tras su rehabilitación.



Figura 4: Indicador de radiación solar sobre cubierta de edificios del casco histórico de Durango (Fuente: elaboración propia)

### 3.2.3 Cálculo de potencial de energías renovables

Finalmente se calcula el potencial de despliegue de diversas tecnologías de energías renovables a nivel de edificio y su impacto en términos de ahorros energéticos y reducción de emisiones, siendo la combinación entre tecnologías y el planteamiento de sistemas más complejos y de mayor potencia a nivel de edificio y distrito abordados en la Fase 3.

A partir del cálculo del recurso solar disponible, se calcula el potencial de despliegue de sistemas de energía solar térmica y solar fotovoltaica en las cubiertas de los edificios residenciales y públicos del municipio. Dicho potencial se cuantifica por edificio, en función de indicadores tales como el grado de cubierta aprovechable, la potencia instalable, generación eléctrica y de ACS alcanzable, ahorros energéticos y de emisiones anuales. De esta forma se pueden clasificar las áreas y cubiertas en función del grado de idoneidad para cada tecnología.



Figura 5: Ejemplo de potencial de energía solar térmica en Santiago de Compostela (fuente: [6])

Un método de cálculo de potencial renovable análogo se plantea para otras tecnologías a considerar a nivel de edificio, como la aerotermia/bombas de calor, calderas de biomasa, etc., mediante el cual, a partir de la demanda energética del edificio y el consumo con las tecnologías convencionales de referencia, se obtiene el ahorro energético y la reducción de emisiones alcanzable, la potencia instalable, la generación anual renovable, etc.

### 3.2.4 Georreferenciación y generación de mapas

En paralelo a las tres tareas de cálculo, se llevará a cabo la tarea de implementación informática de las metodologías, el tratamiento masivo de datos, y la visualización de resultados mediante capas GIS.

En esta tarea se llevan a cabo los siguientes pasos:

- Selección y pre-procesado de las capas de datos:
- Tratamiento de datos
- Visualización de contenidos

Como resultado se generan unas nuevas capas que se visualizan a través de alguna herramienta de escritorio GIS, que permita la navegación por el mapa, búsquedas de contenidos y consultas geoespaciales en base a criterios definidos.

## 3.3 Fase 3: Análisis de los resultados, recomendaciones y conclusiones para el Plan Director

### 3.3.1 Complementariedad y sinergias energéticas entre edificios

Los resultados de la fase anterior son analizados e interpretados, cruzando las demandas entre edificios públicos y residenciales en busca de complementariedad, proponiendo escenarios concretos en los que los edificios públicos actúen como nodos energéticos de distrito, y teniendo en cuenta criterios de fomento de la rehabilitación y regeneración urbana, elaborando una serie de recomendaciones y priorizaciones de actuación, que



permitan al Ayuntamiento de Durango definir los objetivos para el Plan Director 2020-2030 en términos de reducción de emisiones de GEI y generación renovable en el municipio.

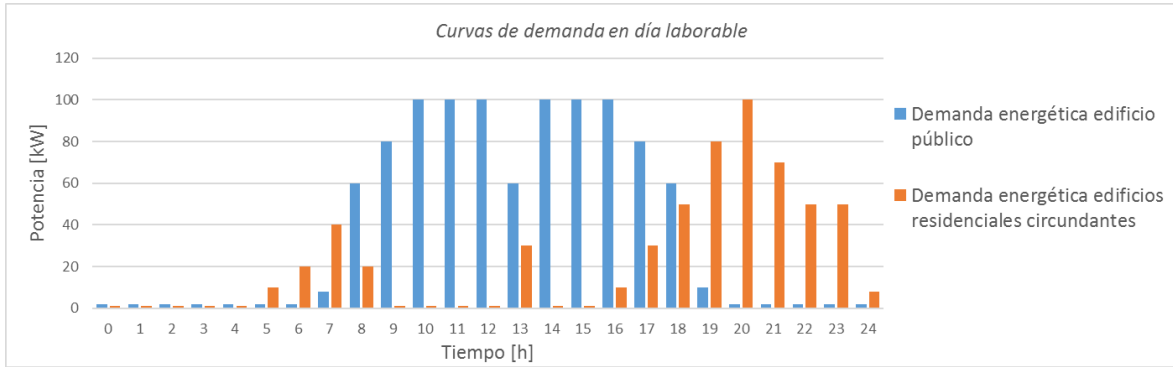


Figura 6: Cargas horarias complementarias (fuente: elaboración propia)

### 3.3.2 Propuesta de escenarios energéticos para los edificios públicos

El avance en términos de eficiencia energética y sostenibilidad de un área del municipio determinada se puede lograr mediante la combinación de tecnologías renovables a desplegar en los edificios residenciales y/o en el edificio público principal del área (con potencial de actuar como nodo).

A partir del grado de complementariedad entre demandas energéticas identificado en la anterior tarea y también el potencial de despliegue renovable de cada edificio previamente calculado, se plantean diversos escenarios energéticos para los edificios públicos significativos, estudiando su viabilidad técnica y económica, y configurando sistemas de distrito o micro-redes, ajustados a las exigencias normativas, y a las condiciones y necesidades reales de los edificios públicos y residenciales circundantes.



Figura 7: Edificio público como nodo energético (fuente: elaboración propia)



Para cada escenario se consideran todos los aspectos de una micro-red (consumo, generación, distribución, almacenamiento) y se estiman los balances energéticos y económicos anuales, identificando las medidas y tecnologías a implementar más convenientes para cada distrito determinado. Las tecnologías consideradas son (individualmente o como combinación):

- Solar térmica
- Solar fotovoltaica
- Bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas
- Biomasa
- Co-generación.

### 3.3.3 Identificación de ámbitos prioritarios de actuación, las inversiones asociadas y las posibles fuentes de financiación

Como primer paso para la identificación de ámbitos prioritarios de actuación se elabora un diagnóstico en el que se identifica la necesidad de regeneración urbana [7] tomando en cuenta:

- La situación socioeconómica de la población
- Las características de la edificación residencial y sus instalaciones
- La oportunidad de intervención

El diagnóstico se cruza con una serie de criterios de factibilidad técnica y se contrasta con la estrategia y planes de regeneración del municipio, identificando los posibles ámbitos de oportunidad que pudieran surgir desde la estrategia municipal, así como otros posibles factores cualitativos de oportunidad o de barrera relacionados con el interés o predisposición de los vecinos u otros actores del municipio.

En base a los resultados obtenidos de contraste se elabora una propuesta de priorización de ubicaciones, identificando 1-2 proyectos con mayor potencial en función de su factibilidad técnica, económica y social.

Del proyecto o los proyectos seleccionados se realiza una estimación de las inversiones necesarias para su desarrollo y la ejecución de las medidas propuestas. Se propone el modelo o modelos financieros más idóneos a aplicar, y se identifican las fuentes de financiación y subvención existentes para dichas actuaciones a nivel europeo, estatal y autonómico.

## 4 CONCLUSIONES

La complementariedad energética entre edificios es una de las estrategias más prometedoras y útiles para proyectos de rehabilitación edificatoria a escala de distrito. Una de las principales ventajas de la actuación a escala de distrito, frente a medidas de rehabilitación aisladas a nivel de edificio, es el aprovechamiento de sinergias de calor mediante la conexión de edificios, para lo cual es clave conocer las demandas energéticas de los diversos edificios de una zona, tanto su orden de magnitud para un correcto pre-dimensionamiento de sistemas, como sus curvas de demanda horarias, para identificar la





complementariedad entre cargas y nivel de ocupación (como ocurre habitualmente entre edificios públicos y residenciales).

El análisis de estas sinergias otorga a los planificadores urbanos una visión del potencial de redes de distrito en los que los edificios actúen como nodos energéticos, generando y distribuyendo servicios energéticos renovables o convencionales también a edificios circundantes, a la vez que sirve para destacar las áreas de mayor potencial para este tipo de actuaciones. La evaluación de estas correlaciones tiene en cuenta la densidad de demanda energética como uno de los indicadores principales para identificar la viabilidad y eficacia de implementar un sistema de distrito en una determinada área.

Dicho análisis proporciona al Ayuntamiento de Durango información para implementar una política energética eficaz en su área de influencia, potenciando el rol de los edificios públicos en la regeneración sostenible del municipio, facilitando la identificación de áreas prioritarias y la estimación del impacto energético y ambiental de las mismas, así como las inversiones necesarias para su ejecución.

## REFERENCIAS

- [1] Carta de las Ciudades Europeas hacia Sostenibilidad, Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles, 24-27 Mayo 1994, Aalborg (Dinamarca).
- [2] Agenda Local 21, Urbanismo y medio ambiente, Ayuntamiento de Durango [http://www.durango-udala.net/portalDurango/p\\_86\\_final\\_Contenedor\\_5.jsp?seccion=s\\_lides\\_d1\\_v1.jsp&codbu\\_squeda=179&language=es&codResi=1&codMenuPN=3&codMenuSN=69&codMenu=244&layout=p\\_86\\_final\\_Contenedor\\_5.jsp&tmn=1](http://www.durango-udala.net/portalDurango/p_86_final_Contenedor_5.jsp?seccion=s_lides_d1_v1.jsp&codbu_squeda=179&language=es&codResi=1&codMenuPN=3&codMenuSN=69&codMenu=244&layout=p_86_final_Contenedor_5.jsp&tmn=1)
- [3] Mediavilla, A., Romero, A., Pérez, J., Mata, F.J., "Energy efficiency assessment in urban environments using GIS", CIB W78-W102 2011: International Conference –Sophia Antipolis, Francia, 26-28 Octubre 2011.
- [4] Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, BOE, num. 242, de 6 de octubre de 2018, páginas 97430 a 97467.
- [5] P. de Agustin-Camacho, "Photovoltaic self-consumption heating system: analytical model, experimental results and autonomy prospects", PhD thesis, Carlos III University of Madrid, 2015.
- [6] Romero, A., Egusquiza, A., Izkara, J.L., "Integrated decision support tool in energy retrofitting projects for sustainable urban districts", World Sustainable Building 2014. Barcelona, Octubre 2014.
- [7] Molina, P., "Methodology for demarcation of priority areas for integrated urban regeneration". Actas del BIA Urban Regeneration Forum "Hacia una ciudad sana". Bilbao. ISBN 978-84-87813-60-3, Septiembre 2014.