

VIII Congreso Madrid Subterra

El VIII Congreso Madrid Subterra, organizado por Madrid Subterra, el pasado 18 de abril en la Casa de Vacas del Retiro, ha puesto en el foco de atención la isla de calor urbano y energías residuales. La ciudad de Madrid ha tenido un papel protagonista en este Congreso, celebrado en el décimo aniversario de la asociación que lo promueve y organiza, por la importancia que se ha dado al aprovechamiento de las energías limpias en la iniciativa municipal, como por la puesta en marcha del Proyecto del Paseo Verde del Suroeste, pionero en Europa por la termoactivación completa de túnel de nueva construcción que nacerá del soterramiento de un tramo de la A-5.

María José Aparicio, Coordinadora de Movilidad del Ayuntamiento de Madrid, ha inaugurado el Congreso poniendo de relieve que Madrid está llevando a cabo un cambio de gran envergadura para ser una ciudad más sostenible. Y en esta evolución, está jugando un gran papel las energías limpias del subsuelo. Anteriormente, tal como ha señalado Aparicio, se tenían muy en cuenta las posibilidades de Metro de Madrid; sin embargo, ahora se ha incorporado el soterramiento de la A-5, un proyecto pionero por su magnitud, que se presentaría en este Congreso y cuya termoactivación se ha incluido a propuesta de Madrid Subterra. El Ayuntamiento, tal como ha señalado la Coordinadora de Movilidad, está abierto a explorar todas las posibilidades del Madrid Subterráneo.

A continuación, **Luis Tejero**, del Departamento de Cambio Climático, incluido en la SG Energía y Cambio Climático del Ayuntamiento de Madrid, ha presentado el Estudio del clima en la ciudad de Madrid.

La isla de calor se conoce desde hace más de un siglo. Sin embargo, no ha sido hasta los últimos años que las ciudades lo han comenzado a tener en consideración en la planificación y el urbanismo de las ciudades. Además, también ha aumentado el conocimiento al respecto y se han puesto en marcha medidas de mitigación.

Señalando esta realidad ha comenzado Tejero a hablar de los estudios sobre la isla de calor urbano (ICU) que comenzaron de la mano de Felipe Fernández en los años 80 y cuyo relevo se ha tomado por varios grupos de investigación.

La ICU surge por la modificación de la temperatura de la ciudad y del clima de base regional. Pero es tan importante la propia temperatura como de las dinámicas que provoca. La temperatura en el centro de la ciudad tiene una temperatura más alta que su contexto, ha señalado Tejero aclarando que es más alta en invierno y por la noche, pero su impacto es mucho mayor en verano.

Los materiales de construcción, aclara, funcionan como 'pila energética' que acumula energía en forma de calor y después la libera por la noche; y cada material lo



María José Aparicio, Coordinadora de Movilidad del Ayuntamiento de Madrid, inauguraba las jornadas

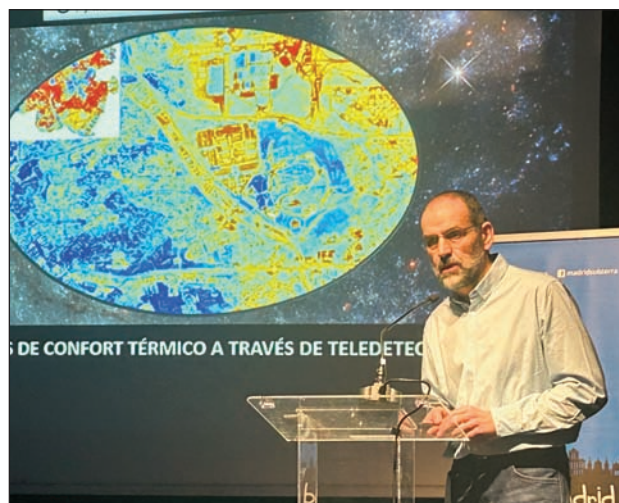
hace a un ritmo diferente. Tejero ha añadido que la morfología urbana es clave para entender el fenómeno, pues el ICU es mucho menor en zonas esponjosas con más sombras y ventilación. Por supuesto, la presencia de zonas verdes y las fuentes antropogénicas, esto es, el calor que vierte la propia actividad humana en la ciudad (tráfico, climatización, etc.).

Entre los efectos del ICU, encontramos los cambios en la demanda energética de la ciudad, en tanto que las olas de calor son cada vez más frecuentes, intensas y duraderas y se adelantan más en el calendario. Además, de las cuestiones asociadas a la salud, que tienen mucho que ver con los ritmos de calentamiento y enfriamiento, según ha apuntado Tejero. Antes por la noche la ciudad se enfriaba pero esto ya no se produce afectando al descanso y la salud. El incremento de la mortalidad asociada a las olas de calor es superior a 1300 personas en la Comunidad de Madrid entre junio y agosto.

Para conocer bien todo esto desde 2016 se comenzó a estudiar en detalle el clima de la ciudad de Madrid, ha informado Luis Tejero, generando una representación geográfica de la isla de calor y sus efectos, teniendo en



Luis Tejero presentó el estudio de clima en la ciudad



Vicente García habló de los mapas de confort térmico

cuenta la sensación térmica de la temperatura del aire, con la intención de contribuir en la mejor toma de decisiones sobre las medidas a aplicar. Además del mapa, se ha generado un visor con puntos de medición térmica con una lectura en tiempo real de la temperatura que muestra cuán amplio es la variación de la misma a lo largo del día. El efecto ICU en Madrid es más acusado que en otras ciudades, concluye Tejero.

Vicente García, Jefe del Departamento de Topografía, de la SG Innovación e Información Urbana del Ayuntamiento de Madrid, ha presentado los Mapas de confort térmico a través de teledetección en su intervención.

Ha comenzado señalando que el proyecto de teledetección tiene más de veinte años, poniendo el foco en esta jornada sobre aquellos que tienen que ver con el ICU y el confort térmico, incluidos todos ellos en el Geoportal municipal.

El servicio de detección de cambios urbanos, índices de vegetación, mapa de potencialidad solar, de zonas inundables o de detección de amianto en cubiertas y tejados son algunos de los productos que se pueden encontrar en relación a este mapa de confort térmico.

En particular, el mapa de ICU y confort térmico de toda la ciudad se lleva a cabo mensualmente con el satélite Landstat que mide verdor, brillo, temperatura superficial terrestre y temperatura ambiental, compacidad urbana, cercanía de ríos y cuerpos de agua, pendientes, sombras, entre otras, para llevar a cabo un análisis multicriterio en que las variables son jerarquizadas. Todo ello da lugar a un mapa analítico del clima urbano dando lugar 8 categorías

de confort térmico y agrupando zonas a proteger, vigilar y en las que es necesario proceder.

Con un sentido muy práctico, pone ejemplos de zonas donde se dispara el ICU, como el arco sur, donde a penas había zonas verdes y sí muchas obras; la evolución que se produjo en la Casa de Campo ante la pérdida de vegetación que sufrió tras Filomena, la renaturalización del curso bajo del río Manzanares conforme va creciendo la vegetación o el fin de las obras en Plaza de España.

A continuación, **Armando Uriarte**, Gerente de la Asociación Madrid Subterra, ha abordado el aprovechamiento de las energías residuales y profundizado en el origen y funciones de la propia asociación.

Más allá del propio calor natural del suelo, que nos lleva a hablar de geotermia, según señala Uriarte, existen infraestructuras en la ciudad que por su propia actividad o simplemente por estar ubicadas en el subsuelo generan calor que puede ser aprovechado. Madrid Subterra trabaja para estudiar la conveniencia de incorporarlo a los proyectos de la ciudad. Como ejemplos ha puesto el Metro de Madrid y también las aguas residuales que se mantienen a temperatura constante.

El Polideportivo de Moratalaz ha sido el caso concreto de aprovechamiento de las aguas de saneamiento para los servicios de climatización, tanto del agua de la piscina como del agua caliente, que antes se calentaban a través de dos calderas de gas. La proximidad de un colector de aguas residuales hizo viable un piloto para aprovechar a sus 18°C de temperatura constante mediante un intercambio térmico. Se colocó directamente sobre el colector

y mediante una bomba de calor se incrementa la temperatura hasta el punto requerido. Mediante esta técnica sencilla, se ahorró un 29% en la factura energética y 73 t de Co2 en emisiones, esto es, un 37%.

El caso del metro que ha presentado Uriarte está ubicado en el distrito londinense de Islington, donde la calefacción procedente de la recuperación del calor residual del metro generando calefacción para 600 viviendas públicas, 100 privadas y una escuela. De este modo, se aprovecha la energía, aumentando la eficiencia energética, al tiempo que se mitigan los efectos de la isla de calor.

El Gerente de Madrid Subterra ha presentado algunos datos del año 2020 en Metro de Madrid, que puede ser considerado un gran intercambiador geotérmico. Si se termoactivase la superficie de los túneles se obtendría una energía anual de 1.638.120 MWh. Si se lograra captar la energía del arranque y parada de los trenes con termoactivación, se podría obtener un total de 2.409.120 MW anuales, lo que supondría un 12% del consumo energético del sector RCI (residencial, comercial e institucional) de la ciudad de Madrid.

Aunque estos datos no están actualizados y sería necesario llevar a cabo un estudio exhaustivo de viabilidad, Uriarte considera que vale la pena pensar en convertir la red de metro de Madrid en un recurso energético para la ciudad; de hecho, en el gran proyecto de urbanización Madrid Nuevo Norte se está en conversaciones para llevar a cabo el aprovechamiento de las energías residuales. También se ha mencionado la ampliación de la línea 11 de Metro y el proyecto de soterramiento de la A-5.

Para terminar, Uriarte ha hecho hincapié en señalar que las energías del subsuelo están siendo incorporadas progresivamente a la legislación. Es el caso de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética o la Estrategia de Energía, Clima y Aire 2023-2030 de la Comunidad de Madrid.

Sostenibilidad energética en el Paseo Verde del Suroeste

Pedro José Rodríguez, Jefe del Proyecto de Paseo Verde del Suroeste, ha presentado con detalle todo lo referente a la sostenibilidad energética del soterramiento de la A-5 poniendo de relieve, como ya hiciera la Coordinadora de Movilidad del Ayuntamiento de Madrid, el carácter pionero de este proyecto en tanto que contempla la termoactivación de la totalidad del túnel que se construirá para este soterramiento.

El proyecto se ha hecho necesario por la propia evolución de la zona y el tráfico de vehículos, con barrios po-



Armando Uriarte profundizó en las energías residuales y su aprovechamiento

pulosos en su entorno, sin a penas zonas verdes ni estancias, donde la intensidad media diaria de vehículos circulando ha ido en ascenso y la vía se ha convertido en una gran barrera con escasos pasos para peatones de carácter subterráneo que no ofrecen siempre la seguridad necesaria.

En el marco de la Estrategia Madrid 360, este es un proyecto transformador para extender Madrid Río desde la Avenida de Portugal conectando los nodos y servicios que existen en los barrios y dando continuidad a un entorno privilegiado de zonas verdes, explicaba el Jefe del Proyecto.

Entre las necesidades principales, se requiere transformar la movilidad con el túnel para el tráfico de penetración, potenciando el transporte público con un carril bus-VAO en el túnel para interurbanos, a lo que habría que sumar los autobuses urbanos en superficie, donde se mejorará la accesibilidad, se incorporarán los carriles-bici, etc. La movilidad se integra en la trama urbana existente y se añade el túnel modificando los accesos y salidas. José Rodríguez detalló todas estas cuestiones que ya adelantamos en nuestra revista Aforos 140 y que puedes consultar en las páginas ...

La energía fotovoltaica y geotérmica se incorporarán al proyecto aportando un gran componente de sostenibilidad ambiental que será también muy beneficioso para rebajar los niveles de emisiones contaminantes y también de ruido en la zona, tal como indica el Jefe del Proyecto. Las zonas verdes y estancias contribuirán a ello así como el mix de medidas de ahorro y eficiencia energética que se incorporan a todos los proyectos. Además, el 95% del



Pedro José Rodríguez, como Jefe del Proyecto, ha abordado la sostenibilidad energética en el Paseo Verde del Sureste

material para la urbanización será reutilizado de la excavación del túnel.

A todo esto se sumarán los dos elementos más novedosos que se han señalado previamente: la generación de energía fotovoltaica en los espacios que se crearán en superficie y de energía geotérmica que se obtendrán a través de la gran cantidad de pilotes en el túnel. Concretamente serán 120.000 metros lineales de pilotes, todos los que hay en las pantallas laterales de los 2,8 kilómetros del nuevo túnel, que son los que están en contacto con el terreno, los que se termoactivarán para obtener la temperatura. Se prevé lograr con ello, según Rodríguez, un potencial energético de 14.800 MWh/año. La red y la bomba de calor para distribuir y convertir ese calor en climatización y agua caliente sanitaria para los edificios cercanos que se beneficiarán de él no está contemplada en este proyecto, apunta Rodríguez, sino que se introducirá en el tercer lote, el residencial, tras los dos de obras que comienzan este mismo octubre, y se licitará en torno a 2027.

Los edificios susceptibles de disfrutar de este aprovechamiento energético están ubicados en la proximidad (para evitar pérdidas de calor) y son un centro de formación, una residencia de ancianos, biblioteca, un centro cultural y uno deportivo.

La energía fotovoltaica, por su parte, se generará en el espacio en superficie liberado de asfalto, en las zonas estanciales sobre pérgolas de sombra. No se podrán satis-

facer todas las necesidades energéticas del túnel pero se generarán en 5500 m² de superficie una producción anual de 1158 MWh, que colaborarán en un 10% de este consumo.

Algunas cifras de la actuación:

- Soterramiento de 2788 m de autovía A5
- 26 Ha de nuevas zonas verdes: 302 árboles transplantados y 1278 nuevos
- 33 nuevas conexiones peatonales en superficie
- 2884 m de nuevo carril bici direccional con anchura de 3m
- Más de 5500 m² para generación de energía fotovoltaica
- Geotermia en los pilotes del túnel para conectar los sistemas de climatización de los edificios públicos cercanos
- Reducción de emisiones de CO₂ y NO_x

Balance energético de la ciudad de Madrid

En su intervención **Javier Pérez**, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM, ha presentado el balance energético de la ciudad de Madrid, un interesante estudio que se elabora de manera anual y sobre el que se han destacado el potencial y las más claras tendencias.

Este trabajo resulta de gran importancia en la toma de decisiones de eficiencia energética, calidad del aire y medidas de mitigación ICU en la medida que permite valorar cuánta energía se genera (y de qué fuentes), cuánta se consume y cuánta es necesario importar en la ciudad.

Tras realizar una revisión de la metodología y las fuentes de información (algunas de las cuales ofrecen bastantes dificultades), Javier Pérez muestra una fotografía de la situación entre 2006 y 2021: Madrid importa el 96% de la energía que consume y en su consumo el 54% proviene de fuentes petrolíferas, 22% eléctrica y otro 22% de gas natural. Las fuentes propias de energía se corresponden únicamente al 4% restante y proviene de la gestión de residuos municipales (lodos de las EDAR) y energía solar, dando lugar a una situación de gran dependencia energética en Madrid. Concretamente, la generación eléctrica bruta procede un 58% de la cogeneración y un 26% de la incineración de residuos, siendo estas las principales aportaciones, si bien la información relativa a un autoconsumo que va en aumento no es fiable aún.

El consumo de energía final está en torno a 300 Kilo-teps, que si bien se ha rebajado un 22% en el periodo de estudio, con gran dependencia de fuentes fósiles (64% petrolíferos y GN), las fuentes renovables han aumentado su presencia desde el 6,4% en 2006 al 18% en 2021.

Por sectores, el RCI es el de mayor consumo, llevándose un 56% de la electricidad y el GN seguido del sector transportes, con el 28%, mayoritariamente procedente de fuentes fósiles de energía. Y el consumo per cápita se ha reducido un 26% si bien se espera que el ligero crecimiento post pandemia lo incremente ligeramente en el cálculo de 2022 que se está finalizando en estas fechas.

Todas estas tendencias —señala el ponente— coinciden con las del resto del país.

Urban Heat

Susana Saiz, Consultora de Arup, ha presentado a continuación la herramienta Urban Heat realizando una instantánea global del calor urbano. Para hacerlo, ha iniciado su intervención destacando algunos datos relevantes como por ejemplo que de aquí a 2050 se habrán multiplicado por tres las ciudades del mundo con temperaturas por encima de los 35°C; en 2022, han sido 16000 los fallecidos en Europa por calor extremo y han aumentado un 4% los fallecimientos que Europa se pueden atribuir a la isla de calor urbano. Además, ha indicado que en 2023 fueron 116 días de record de temperatura que afianzan el cambio climático.



Javier Pérez expuso en su ponencia el balance energético de la ciudad

Este aumento de la temperatura aumenta el riesgo de eventos extremos, la frecuencia de las olas de calor y el riesgo de calor extremo en la ciudad a lo que se suma el ICU como 'extra' de acumulación de calor. Este es un problema de salud público para las Administraciones, puntualiza Saiz, y una realidad que debe ser tenida en cuenta por los profesionales que trabajan en el urbanismo, para las empresas privadas del sector residencial, turismo, etc., y para los ciudadanos; todo ello con gran impacto económico también, en lo sanitario, el consumo energético o el descenso de la productividad laboral, entre otros elementos destacados. Pero además —añade— es también un problema de equidad pues las zonas más vulnerables a todos estos efectos coinciden con aquellas donde habitan los grupo de población que conforman las minorías y sufren mayor riesgo de exclusión.

Las soluciones que Susana Saiz propone pasan por analizar, planificar y actuar con medidas cuyo impacto se pueda modelizar y afinar con herramientas multifactor que permitan aplicarlas y hacerlas escalables. Es aquí donde nace Urban Heat, una herramienta que incorpora información geoespacial, fuentes de calor antropogénico, población afectada, modelos de balance energético con temperaturas reales en ICU que incorpora elementos de inteligencia artificial para continuar aprendiendo de los datos que se van recopilando a través de estas numerosas fuentes de información.

Principalmente, UrbanHeat utiliza dos modelos: de un lado, Terrain con información geoespacial para modelizar territorios; y de otro, SVEWS, un algoritmo de balance hidrotérmico para crear modelos computacionales de manera dinámica. Con todo ello, se obtienen muchas métricas para el diseño de soluciones de mitigación que per-

miten prever su impacto antes de realizarla.

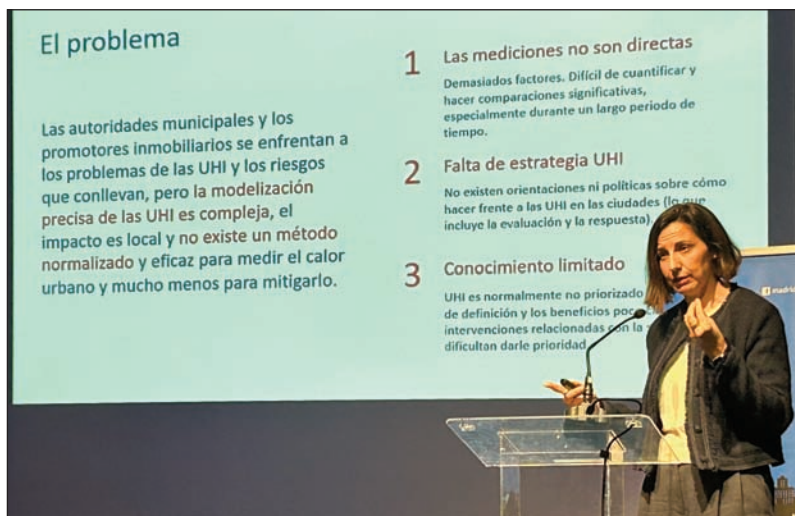
Para probar la herramienta, se ha trabajado con nueve ciudades, entre las que se encuentra Madrid, con características muy diferentes pero con un elemento común, que contaran de antemano con información fiable y de calidad.

En Madrid, de manera concreta, se trabajó sobre un área de 150 Km², contemplando todo el eje de la Castellana desde Mirasierra a Carabanchel, con una malla hexagonal para calcular la temperatura del aire. Entre los resultados obtenidos, se determinó el 15 de junio de 2022 como el día de más calor de todo el año y la Plaza de Joan Pujol, en Malasaña, como el punto exacto de la ciudad de Madrid con más calor. En este entorno, la superficie más presente estaba compuesta de zonas pétreas oscuras, con un 3% de cobertura vegetal, sin sombras, donde la temperatura era hasta 8º más alta que en la zona más fría de la ciudad, ubicada en la Casa de Campo, donde el 89% está formado por cobertura vegetal.

Entre las conclusiones más relevantes, se observa una gran amplitud térmica en la ciudad que se puede atribuir principalmente a la presencia de zonas verdes y de agua, infiriendo cuáles son las mejores soluciones para paliar estas circunstancias; además, se observó con claridad que los barrios más pobres tienen más posibilidades de sufrir el ICU.

El uso de la inteligencia artificial y de imágenes por satélite puede ayudar a detectar las zonas más afectadas y modelar intervenciones que ayuden de manera efectiva la toma de decisiones, creando criterios útiles de diseño y también que sirvan a la rehabilitación urbana para mitigar este impacto a través de soluciones de “acupuntura urbana” que en muchos casos pueden tener bajo coste, inmediatez, y simplicidad en su aplicación provocando enormes mejoras.

La jornada ha terminado con la intervención de **Jordi Serra**, de Engie, quien ha profundizado en el aprovechamiento de calores residuales en redes de calor urbanas, poniendo ejemplos en Data Centers y otras industrias con excedentes de calor en ciudades francesas como Amiens o soluciones distritales dentro de París (La Chapelle), incluso en casos españoles como el de Barcelona.



Susana Sáinz ha presentado Urban Heat



Jordi Serra se ha encargado del aprovechamiento del calor residual en redes de calor urbano

Con la clausura del Presidente de Madrid Subterra, Javier Sanz, en el décimo aniversario de la asociación, se concluye que recuperar el calor residual de las infraestructuras subterráneas, de los data centers y de los procesos industriales presentes en las ciudades contribuirá a mitigar el efecto isla de calor urbana, lo que contribuye a reforzar el objetivo principal de esta iniciativa público-privada que apuesta por aprovechar estas energías limpias y renovables en las ciudades a través del conocimiento y la inversión en proyectos viables.