



SOSTENIBILIDAD EN ESCENA

NURIA GALLEGO SALVADOR

Directora de Sostenibilidad,
Accesibilidad e Infraestructuras
Fundación del Teatro Real F.S.P.

El Teatro Real de Madrid, motor cultural
y eficiencia energética

Página inicio:

La soprano Nadine Sierra (Violeta Valèry) en una escena de La Traviata de Verdi, con dirección escénica de Willy Decker y musical de Henrik Nánási.

Producción de la Dutch National Opera & Ballet. © Teatro Real / Javier del Real.

El Teatro Real ha llevado a cabo un ambicioso plan de modernización enfocado en la sostenibilidad ambiental, convirtiéndose en un ejemplo de eficiencia energética en el ámbito cultural. Con medidas como renovación de sistemas de climatización, implantación de energía solar fotovoltaica o uso de inteligencia artificial, ha alcanzado la calificación energética A y ha reducido su consumo casi a la mitad.

Tal como la define el Banco Mundial² «La energía es un elemento central del desarrollo. Sin ella, las comunidades viven en la oscuridad, los servicios esenciales como los establecimientos médicos y educativos se ven seriamente afectados, y las empresas operan bajo graves limitaciones. La energía hace posibles las inversiones, la innovación y las nuevas industrias que son los motores de la creación de empleo y del crecimiento para economías enteras. El acceso universal a un nivel asequible, confiable y sostenible de energía -Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7- resulta esencial para lograr otros ODS, y constituye el eje de los esfuerzos para hacer frente al cambio climático».

Para garantizar la neutralidad climática establecida por la UE en el Horizonte 2050, en su lucha contra el Cambio Climático y Reducción de Emisiones, establece el Pacto Verde Europeo (European Green Deal). Resumiendo, las últimas normativas aplicables a sostenibilidad y eficiencia energética, donde destaca la Directiva 2024/1275 sobre eficiencia energética de los edificios (EPBD) establecen entre otros la obligatoriedad de:

- Auditorías energéticas. Certificación energética (HULC Calener). RD 56/2016, UE 2022/27. CTE
- Edificios de consumo casi nulo (ECCN) o nZEB, cero emisiones para las nuevas edi-

- ficaciones o emisiones desde 2028/2030. EPDB, CTE
- Renovaciones obligatorias para los más ineficientes. EPDB
- Fomento de energías renovables, autoconsumo. Bomba de calor. EPDB
- Sistemas de control y dotar de inteligencia a la gestión de la energía. Se introduce el SRI Indicador de preparación inteligente. RITE, EPDB.
- Obligación de recoger en los Estados de Cuentas información no financiera, ESG. Ley 11/2018, UE 2022/2464
- El carácter ejemplarizante de las Administraciones Públicas. EPDB
- RD 36/2023, CAEs, certificados de ahorro energético, SNOEE
- Economía Circular y Residuos.
- La mejora de la eficiencia energética de los edificios se basa en tres pilares:
- Las características constructivas, envolvente.
- Las características del suministro de energía y las instalaciones técnicas disponibles.
- La gestión activa de la energía a partir del BMS (*buildingmonitoringsystem*), sistema de control y monitorización.

Un Bien de Interés Cultural

El Teatro Real, máximo exponente de las artes escénicas de España, y uno de los teatros de ópera más importantes a nivel global, es propiedad del Ministerio de Cultura, y la gestión de este es de la Fundación del Teatro Real a través del convenio público de cesión.

La actividad principal se desarrolla en el propio edificio ubicado en el corazón del centro de Madrid, en la Plaza de Oriente, frente al Palacio Real. Se trata de un monumento catalogado como BIC, bien de interés cultural, en su más alta protección. Tiene una superficie de 78.210 m². Edificio de planta hexagonal irregular. Destaca el cuerpo central de la caja escénica que vertebró la edificación a lo alto todo el conjunto, con una altura de 77 m. La sala principal tiene un aforo de casi 2.000 localidades tras la mejora llevada a cabo en 2020. La mitad de su superficie se desarrolla bajo rasante. Se inició la construcción en el siglo XVII.

Se elaboró auditoría energética en 2018, y en ese periodo se establece la línea base de consumo energético, así como el estudio de las variables que interfieren en su variabilidad: la meteorología a partir de bases abiertas de Aemet (Opendata), la afluencia

El desarrollo de nuestra sociedad está condicionado por el uso y aprovechamiento de la energía, siendo la palanca principal de la garantía del bienestar

de público y el número de representaciones o eventos que se llevan a cabo en él, todo ello de acuerdo con la ISO 5001.

Una vez definidos los *usos significativos* de la energía se han llevado a cabo medidas de ahorro y eficiencia energética (MAE), actuaciones en las instalaciones y en la cubier-

ta del Teatro Real con el objetivo de mejorar la sostenibilidad ambiental en la Fundación del Teatro Real. Todas las actuaciones se han ejecutado sin parar la actividad artística habitual. Para ello ha sido necesaria la colaboración y cooperación de todas las áreas y secciones.



El Teatro Real en la Plaza de Oriente de Madrid.

Teatro Real de Madrid es un edificio de consumo energético casi nulo

Actuaciones, medidas y logros

Éstas son, cronológicamente, las actuaciones más significativas, las medidas realizadas y los logros conseguidos:

A partir de 2019 toda la energía eléctrica consumida tiene garantía de origen renovable.

Entre agosto de 2019 y finales de 2020 se llevó a cabo la sustitución alumbrado general del Teatro Real por alumbrado led, cambiando más de 11.000 lámparas. Esta medida supuso un ahorro de más de 40 % del consumo anual en alumbrado.

A lo largo de 2023, se sustituyeron los equipos principales de climatización y de calefacción, que se ubican en las salas de máquinas de la planta -5 y de la planta 9ª, junto con el cambio de las bombas de agua y de los ventiladores que llevan el aire tratado hasta cada una de las salas del teatro, incluyendo sensores de calidad de aire en todos los espacios acondicionados. También se cambió el equipo de producción de agua caliente sanitaria, y las bombas que impulsan el agua sanitaria de consumo a todos los baños y dependencias del edificio. Los nuevos

equipos son de alto rendimiento, duplicando en ocasiones los de los existentes. Con estas mejoras se obtuvo un ahorro del 33 % del consumo anual en climatización. También supuso la mejora en la certificación energética del edificio llegando a la letra B. Los ahorros obtenidos se valorizaron con el sistema de Certificados de Ahorro Energético CAEs, siendo el primer bien de interés cultural en entrar en el registro del MITECO.

A lo largo de 2024, se llevaron a cabo la rehabilitación de las cubiertas, incluyendo la mejora de la impermeabilización y del



Enfriadoras de agua en planta -5.



Ventiladores con motores de alta eficiencia IE5.



Unidades motobombas con variadores de frecuencia y nueva bomba de calor para producción de ACS en sustitución de caldera.



Escena de El cuento del zar Saltán, con música de Nikolái Rimski-Kórsakov y libreto de Vladímir Belski, en coproducción con el Théâtre Royal de La Monnaie © Teatro Real / Javier del Real.

En 2025 se ha mejorado el alumbrado exterior, con un ahorro en su consumo superior al 40 %

aislamiento térmico, la consolidación estructural de la cubierta de la Sala Gyarre, la adecuación de la sala Gyarre, mejoras de la accesibilidad, y la implantación de pavimento de vidrio solar pisable fotovoltaico en las cubiertas de Coro, Sepe y Gyarre. La instalación fotovoltaica está acogida a la modalidad de autoconsumo individual sin excedentes, y la energía que genera da servicio a la refrigeración de las salas de servicios críticos: informática, *dimmers*, audiovisuales, centro de transformación y generador dié-

sel de emergencia. La potencia instalada es de 169 kWp, y se prevé generar 190 MWh anuales, que supone un ahorro de energía primaria de 453.603,97 kWh/año y un ahorro de emisiones de CO₂ de 67.389 kg/año. Ha supuesto la obtención de mejora en el certificado energético del Teatro Real de una letra más, llegando a ser «A», la más eficiente.

El coste de la mejora de las instalaciones ha ascendido a 5.320.602,63 € IVA incluido, financiados por Fondos Europeos, a través de PRTR a través de Acuerdo con

Secretaría de Estado de Energía (MITECO), C11.104.PRTR Plan de Transición Energética en la Administración General del Estado del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, consistente en la realización de actuaciones destinadas a promover el ahorro y la eficiencia energética y fomentar la utilización de energías de origen renovable en los edificios e infraestructuras, así como impulsar la movilidad sostenible. Su ámbito de aplicación comprende la Administración General del Estado, sus organismos y entidades públicas.

De manera cronológica, los ahorros debidos a cada MAE se representan a continuación:

Año	MAE alumbrado led, sobre Trafo 4	MAE sustitución grupos de frío y bombas de calor	MAE sustitución bombas	MAE sustitución ventiladores en UTAS	MAE calidad de aire	MAE bomba de calor de ACS	MAE rehab. cubierta y fotovoltaica	MAE GEIAP	Total
2018 BASE									
2019	de ago 2019								
2020	a nov 2020								
2021									
2022									
2023		junio, sept, octubre	agosto, sept	nov, dic	octubre, nov				
2024 ACTUAL						enero, feb	diciembre		
Ahorro en kWh	1.392.049	188.908	171.670	175.678	251.964	174.940		288.617	2.643.826
Ahorro en %	52,33%	7,10%	6,45%	6,60%	9,47%	6,57%		10,85%	99%
Total, ahorro por servicio (kWh)	1.392.049			963.160			266.022	288.617	2.908.848

Detalle cronológico de MAE desde 2018 en el Teatro Real, incluyendo datos de ahorros hasta 2025. Fuente: elaboración propia.

GEIAP: Inteligencia artificial, gestión estratégica

El coste de la mejora de las instalaciones ha ascendido a 5.320 millones de € y se ha financiado a través del PRTR

Se ha conseguido el objetivo de llegar a ser Edificio de Consumo Casi Nulo, término que recoge el Código Técnico de la Edificación, al que no está obligado el Teatro Real, por no ser de nueva construcción.

Todas las medidas adoptadas destacan por su carácter ejemplarizante, obligado por la Directiva de Eficiencia Energética

de la Unión Europea para los edificios de los organismos público, además de por su innovación.

Todas las actuaciones fueron aprobadas previamente por la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio de Cultura, destacando la búsqueda de la integración en las soluciones adoptadas. También cabe

destacar la obtención favorable de licencia y la colaboración de los servicios municipales de urbanismo del Ayuntamiento de Madrid, así como de la CPPHAN (Comisión para la protección del patrimonio histórico artístico y natural), todo ello antes de ejecución de las obras.

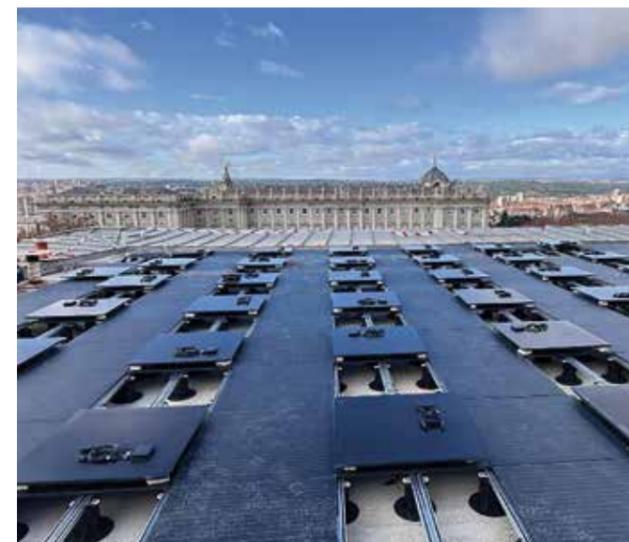
Registramos la huella de carbono de nuestra actividad desde 2019, en el registro del MITECO, en los alcances 1 y 2, siendo en la actualidad NetZero, y estamos trabajando con el objetivo de ampliar el registro al alcance 3, todos ellos de carácter voluntario.

Disponemos de Sistema de Gestión Medioambiental y de Energía bajo las ISO 14001 e ISO 50001 certificado y auditado por Aenor desde 2021.

Gestión Integral con IA

Además se ha trabajado sobre el sistema de gestión integral, aplicando optimización multiobjetivo con IA, Inteligencia Artificial-Primero se han establecido patrones de consumo con datos a partir de minería de datos, *machine learning*, y después de han ensayado varios algoritmos, buscando un funcionamiento autónomo. De manera muy esquematizada.

Los trabajos avanzados han dado resultados muy positivos, con ahorros energéticos sobre los equipos de producción de climatización en tono al 60%, garantizando coeficientes de rendimiento máximos, y temperaturas de confort interiores con gradientes inferiores a 0,5°C. Permiten mantener una contabilidad analítica energética con muchas posibilidades, y garantizan la preparación inteligente del edificio. Por ello estamos en fase de medición de SRI. Supone el primer paso para la gestión inteligente e interconectada de la energía en el Teatro



Implantación de pavimento de vidrio solar pisable fotovoltaico en las cubiertas de Coro, Sepe y Gayarre.

Real. La IA ha permitido desarrollar una zonificación dinámica basada en el comportamiento de los usuarios y el uso real, zonificación funcional inteligente.

Es de destacar que la aplicación de IA sobre el bms garantiza la preservación del BIC, y ayuda en la conservación ya que mejora el predictivo en tiempo real.

Resultados globales

El consumo energético ha disminuido de manera notable, pasando de casi 7 GWh anuales a 4 GWh, y el indicador principal de consumo de casi 100 kWh/m² año a poco más de 50, esperando llegar estar por debajo al finalizar 2026.

Las variables que afectan el consumo han evolucionado según se muestra en los gráficos. La climatología ha puesto de manifiesto el cambio climático recogiendo dos años con calentamiento superior a 1°C. Y se puede apreciar la anomalía de Filomena en 2022. En cuanto a la actividad artística, se ha incrementado de



Inauguración de la Cubierta Solar por la vicepresidenta tercera del Gobierno y ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Sara Aagesen, y el ministro de Cultura, Ernest Urtasun, junto con el presidente de la Fundación del Teatro Real, Gregorio Marañón Bertrán de Lis (6 de marzo de 2025)



Eugenio Onegin, de Piotr Ilich Chaikovski, en una nueva producción de Christof Loy que conmemorará el 225 aniversario del nacimiento de Alexander Pushkin, autor de la novela homónima original.

manera notable, salvo la recesión de la pandemia

El coste de la energía

La coyuntura económica internacional, la inestabilidad de los precios de la energía, la guerra de Ucrania, la crisis de Oriente Medio, introducen variabilidad a la oferta y sobre todo al coste energético. El gasto energético del Teatro Real, se ha monitorizado en todo

momento, manteniendo la línea a la baja establecida en los objetivos presupuestarios y en su plan estratégico, tal como se muestra en el gráfico de gasto energético anual.

Descarbonización y energía renovable

Se ha mejorado la eficiencia energética del Teatro Real: 48 % de ahorro (indicador principal de consumo ha pasado de 100 a 50 kW/h m² año).

Se ha llevado a cabo la descarbonización de su actividad, con implantación de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global, y con huella de carbono de la actividad del Teatro Real NetZero en alcances 1 y 2.

Se ha llevado a cabo la implantación de energía renovable fotovoltaica con la cubierta solar que se inaugura, además de la implantación de bombas de calor de alto rendimiento en todos los servicios.

Las actuaciones llevadas a cabo han cumplido el principio DNSH, garantizando en todo momento la reciclabilidad de más del 70 % de los residuos.

Se está trabajando en metodologías de implantación de optimización multiobjetivo sobre el sistema de control con aplicaciones de Inteligencia Artificial siguiendo el Plan de Acción de la UE para la digitalización del sistema energético.

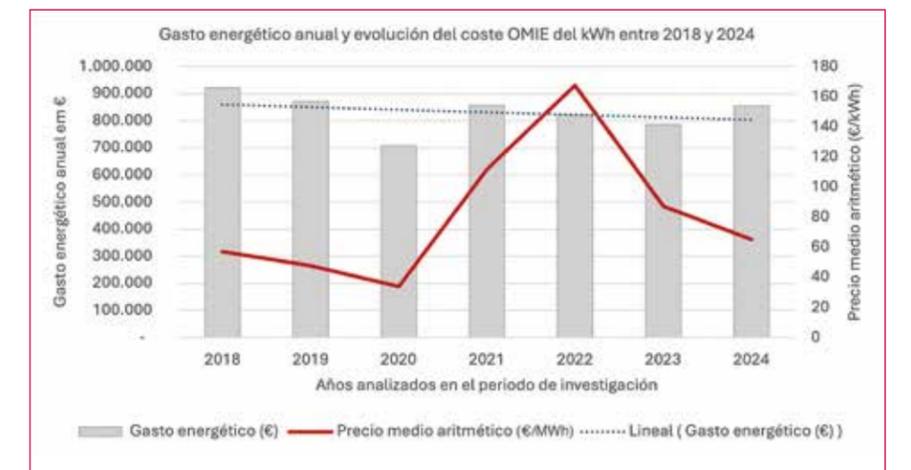
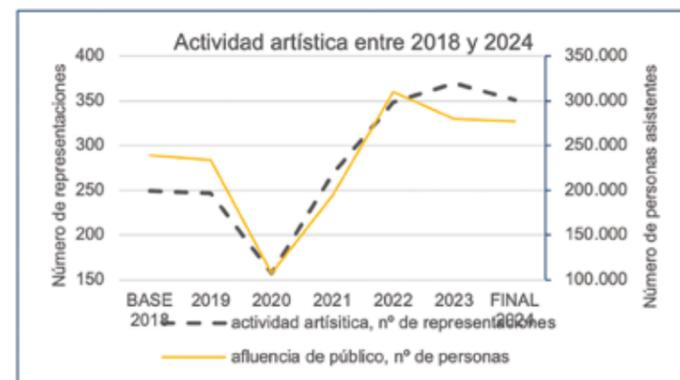
Se ha garantizado la preservación del BIC.

Las actuaciones llevadas a cabo han mantenido el carácter ejemplarizante dictaminado por la EPDB, y han contado con el apoyo de toda la Fundación del Teatro Real durante su ejecución, además de despertar el apoyo de la comunidad, llegando a obtener el premio a la «Mejor Actuación de Eficiencia Energética y Sostenibilidad, Proyecto y obra de sostenibilidad, edificio de consumo casi nulo. Fase I. Medidas de ahorro y eficiencia energética»^{6,7}

Todos los certificados están a disposición en la web: *Compromiso medioambiental y energético del Teatro Real*^{8,9}

En 2024 KPMG redactó Plan Director de Sostenibilidad, para seguir mejorando en la actividad del Teatro Real, teniendo como objetivo conseguir producciones de ópera responsables, NetZero.

Desde 2019 la energía eléctrica consumida tiene garantía de origen renovable





Theodora de Händel con libreto de Morell y dirección escénica de Ivor Bolton en versión escénica en colaboración con la Royal Opera House. © Teatro Real / Javier del Real.

- <https://gestion-doctorado.uah.es/tesis/1146996>
- <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/06/07/report-universal-access-to-sustainable-energy-will-remain-elusive-without-addressing-inequalities>, J. Aguilar, A. Garcès-Jiménez, N. Gallego-Salvador, J. A. G. De Mesa, J. M. Gomez-Pulido and À. J. García-Tejedor, "Autonomic Management Architecture for Multi-HVAC Systems in Smart Buildings," in IEEE Access, vol. 7, pp. 123402-123415, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937639.
- J. Aguilar, A. Garcès-Jiménez, J. M. Gómez-Pulido, M. D. R. Moreno, J. A. G. De Mesa and N. Gallego-Salvador, "Autonomic Management of a Building's Multi-HVAC System Start-Up," in IEEE Access, vol. 9, pp. 70502-70515, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078550.
- Garcès-Jiménez, A., Gomez-Pulido, J.-M., Gallego-Salvador, N., & Garcia-Tejedor, A.-J. (2021). Genetic and Swarm Algorithms for Optimizing the Control of Building HVAC Systems Using Real Data: A Comparative Study. Mathematics, 9(18), 2181. <https://doi.org/10.3390/math9182181>
- https://media.timtul.com/media/web_asociacion3e/NUEVO%20CATALOGO%20PREMIOS%202024%20FINAL%20DIGITAL_20241128083909.pdf
- [- \[getica-y-sostenibilidad-nos-presentan-sus-proyectos-descubrellos/\]\(https://www.teatroreal.es/es/compromiso-ambiental-y-energetico\)
 - <https://www.teatroreal.es/es/compromiso-ambiental-y-energetico>
 - <https://youtu.be/GuLVcUc0cPU?list=TLGGZwaPq91T4dkxODA1MjAyNQ>](https://a3e.es/news/los-ganadores-de-los-premios-eficiencia-ener-

</div>
<div data-bbox=)

Visitas más significativas a las obras:

- 2024, 3 de abril, vicepresidenta tercera del Gobierno y ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico Teresa Ribera visita <https://planderrecuperacion.gob.es/noticias/Teresa-Ribera-presenta-rehabilitacion-energetica-convertira-Teatro-Real-edificio-net-zero-prtr>
- 2025, 6 de marzo, Inauguración de la Cubierta Solar por la vicepresidenta tercera del Gobierno y ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Sara Aagesen, y el ministro de Cultura, Ernest Urtegas, junto con el presidente de la Fundación del Teatro Real D. Gregorio Marañón Bertrán de Lis y el Director General D. Ignacio García Belenguer <https://www.teatroreal.es/es/noticia/teatro-real-inaugura-su-cubierta-solar>
- 2024, 23 de octubre, visita del equipo técnico de la Comisión Europea para seguimiento de Ahorros y Fondos Europeos. https://spain.representation.ec.europa.eu/noticias-eventos/noticias-0/visita-al-teatro-real-opera-de-madrid-espana-2024-10-23_en?prefLang=cs

Ouri Bronchti se ocupó de la dirección musical de la ópera *Zar Saltán* y Dmitri Tcherniakov de la escenografía. © Teatro Real / Javier del Real.

