

Figura 12. Versión 1- Semana de diseño de verano (refrigeración) para Madrid (Csa, 3C): temperatura exterior e interior (aire, radiante, operativa); humedad relativa; índices de confort (PPD de Fanger, PMV de Fanger, PMV ET de Pierce, PMV SET de Pierce, Índice de Molestia de Pierce, Índice de Sensación Térmica de Pierce).

En la semana de diseño de verano, puede verificarse, por comparación con la 1ª serie de resultados, que la amplitud térmica interior logra en reducirse hasta 2°C, mientras los picos de ganancias solares son reducidos a la mitad. Esto significa que la medida de mejora de sombreado adicional (toldo exterior) resulta muy eficaz. Además, puede verificarse que ahora, el rango de temperatura operativa interior está casi totalmente dentro de la zona de confort. Aun así, según los criterios de ASHRAE 55 e ISO 7730 para evaluar ambientes interiores, puede inferirse que durante las noches podrá sentirse una sensación de muy ligero enfriamiento y durante las horas de mayor temperatura y radiación solar del día, puede sentirse una sensación de muy ligero calentamiento (SimScale, 2023) (Ver Figuras 9, 10, 11 y 12).

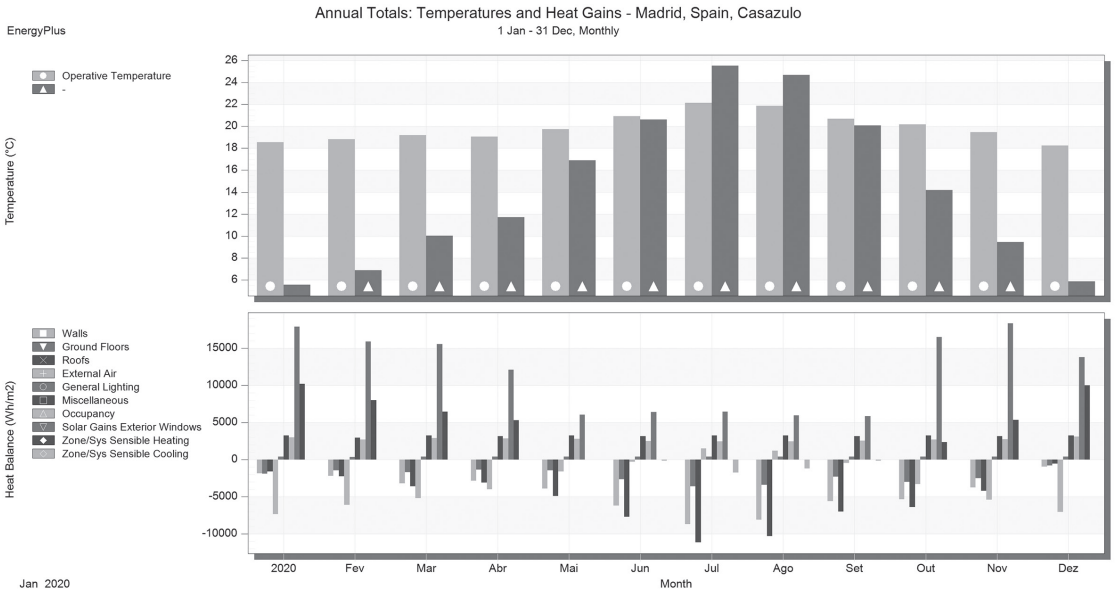


Figura 13. Versión 1- Balance energético anual en Madrid (Csa, 3C): promedios mensuales de temperatura exterior e interior operativa; ganancias de calor de los elementos constructivos y solares; demandas de calefacción y refrigeración.

La evaluación del desempeño energético anual, considerando equipos de HVAC simples, permiten obtener los valores de demandas de calefacción y refrigeración anuales, para set-points de 18°C y 25°C respectivamente. Como se percibe en el balance energético (*Ver Figura 13*), en los meses de invierno la demanda de calefacción es muy importante (promedio de 47,5 Kw/m²), aunque por debajo de las ganancias solares. Al revés, en los meses de verano, la demanda de refrigeración es poco significativa (promedio de 3,35 Kw/m²) una vez que los elementos constructivos hacen su “trabajo” de refrigeración y amortiguación térmica pasiva. Además, en el balance térmico se percibe que el impacto “negativo” de la ventilación es casi tan grande como el impacto “positivo” de la calefacción, lo que significa que, a nivel de valores finales, **una es casi directamente inversa a la otra**. Por eso, se podría sugerir, como nueva medida pasiva de mejoría, la instalación de un sistema de tubo canadiense, que permite el precalentamiento y/o prerrefrigeración del aire de insuflación (aire nuevo) por intercambio de calor con el suelo, y así obtener más **amortiguación térmica**, posiblemente importante, de forma pasiva. Y como se ha mencionado anteriormente, a fin de atenuar las pérdidas de calor durante las noches, se puede probar el “upgrade” de los acristalamientos, a través del uso de vidrios **bajo emisivos** con un U de 1,68 W/m².k, y un factor solar de 0,42.

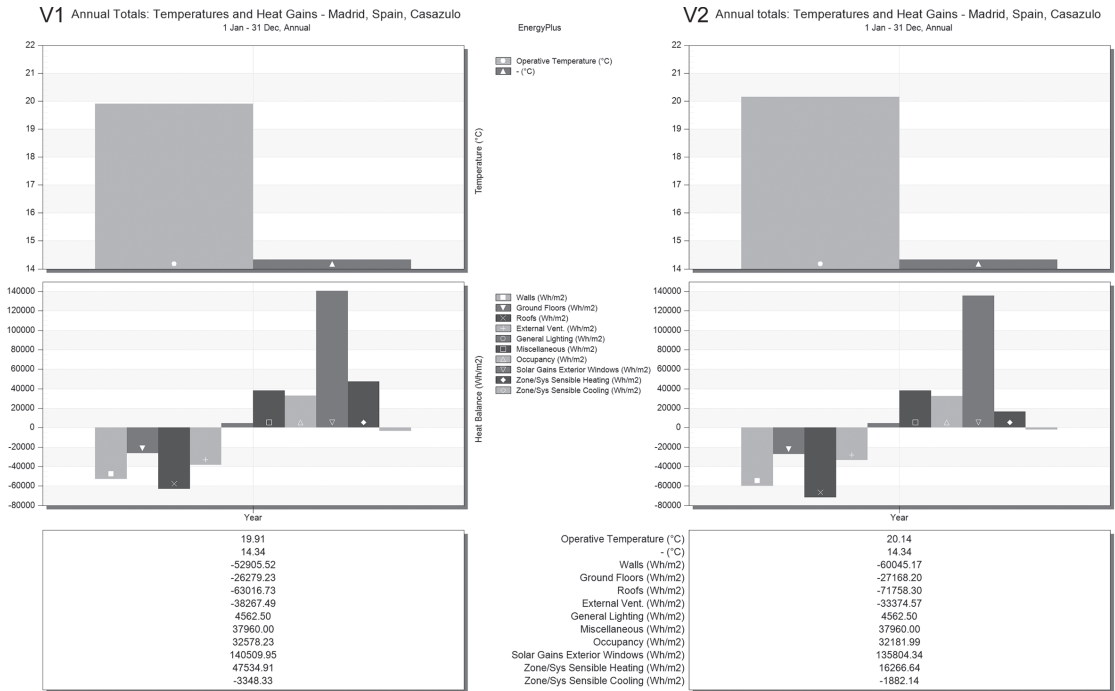


Figura 14. Comparación del balance energético anual en Madrid (Csa, 3C) de las versiones 1 y 2: promedios anuales de temperatura exterior e interior operativa; ganancias de calor de los elementos constructivos y solares; demandas de calefacción y refrigeración.

La comparación de la evaluación del desempeño energético anual de las versiones 1 y 2 (Ver Figura 14) permite verificar que las **demandas de climatización se han reducido a más de la mitad**, entre versiones, derivado de la **eficacia de la aplicación del conjunto de las medidas de mejora**.

Frente al valor calculado de demanda anual de refrigeración sensible, de solo 1,9 Kw/m2, puede considerarse que no es necesaria la instalación de equipos activos de refrigeración (p.ej. aire acondicionado). Y frente al valor calculado de demanda anual de calefacción de 16,3 Kw/m2, puede considerarse que esa demanda podría satisfacerse con equipos de biomasa, del tipo “estufa de leña” de baja potencia.

Al final, se puede concluir que, si por un lado hay que tener en cuenta que se trata de un estudio preliminar, con el objetivo de ganar sensibilidad, y con una geometría de perfiles simplificados, y así hay que leer los **resultados preliminares con precaución**, y permitiendo un amplio margen de error, por otro lado, según esos mismos resultados preliminares, para el sistema optimizado bajo el clima estudiado, son presentados valores de desempeño

energético (teórico) muy positivos, lo que puede permitir extrapolar que el sistema y edificio propuesto puede alcanzar con cierta facilidad (teóricamente) el marco de ZEB en la gran parte del territorio de España continental y/u otras ubicaciones con clima semejante, con altos índices de confort térmico a lo largo de todo el año.

Referencias Bibliográficas

- ASHRAE. (2020). *ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 169-2020 - Climatic Data for Building Design Standards*. Recuperado de https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/169_2020_a_20211029.pdf.
- Berto, R. (2005). Exposure to restorative environments helps restore attentional capacity. *Journal of Environmental Psychology*, 25, pp. 249-259.
- Chawla, L., Keena, K., Pevec, I., & Stanley, E. (2014). Green schoolyards as havens from stress and resources for resilience in childhood and adolescence. *Health & Place*, 28, pp. 1-13. doi: 10.1016/j.healthplace.2014.03.001.
- Chayaamor-Heil, N. (2023). From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges. *Encyclopedia*, 3(1), pp. 202-223.
- Cillis, G. (2020). Pietragalla: rural heritage between architecture and archaeology. *Medium*. Recuperado de <https://giucillis.medium.com/pietragalla-rural-heritage-between-architecture-and-archaeology-86ab04486654>.
- Darwin, C. (1859). *El origen de las especies*. Londres: John Murray.
- DesignBuilder Software Ltd. (2023). DesignBuilder SBEM and DSM Approved Versions. *DesignBuilder*. Recuperado de <https://designbuilder.co.uk/software/designbuilder-sbem-and-dsm-approved-versions/>.
- European Committee for Standardization (CEN/TC 156) - Ventilation for buildings. (2019). *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics* (EN 16798-1:2019).
- Faber Taylor, A., Kuo, F., & Sullivan, W. (2002). Views of nature and self-discipline: evidence from inner city children. *Journal of Environmental Psychology*, 22/1-2, pp. 49-63. Elsevier BV. doi: 10.1006/jevp.2001.0241.
- Godbay, G. (2009). Outdoor recreation, health, and wellness: Understanding and enhancing the relationship. *Resources for the Future*. Recuperado de <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-09-21.pdf>.
- Ilieva, L., Ursano, I., Traista, L., Hoffmann, B., & Dahy, H. (2022). Biomimicry as a Sustainable Design Methodology—Introducing the ‘Biomimicry for Sustainability’ Framework. *Biomimetics*, 7(2), p. 37.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Zeitschrift*, 15, pp. 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

- Krichmar, J. L., Severa, W., Khan, M. S., & Olds, J. L. (2019). Making BREAD: Biomimetic Strategies for Artificial Intelligence Now and in the Future. *Frontiers in Neuroscience*. Recuperado de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2019.00666/full>.
- Lobo, L. A. C., & Rieth, C. E. (2021). Saúde mental e Covid-19: uma revisão integrativa da literatura. *Estudos de Psicologia*, 38, e210011. <https://doi.org/10.1590/1982-0275202138e210011>.
- Nedovic, S., & Morrissey, A. (2013). Calm Active and Focused: Children's Responses to an Organic Outdoor Learning Environment. *Learning Environments Research*, 16 (2), 2, pp. 81-95.
- Palumbo, J. (2022). ¿Vivirías en una cueva? Estos arquitectos creen que deberíamos. Recuperado de <https://www.cnn.com/style/article/architects-sustainable-cave-living>.
- Portalatin-Mendez, E., & Doe, J. (2019). Deep Learning with Biomimicry. *Journal of Design and Science*. Recuperado de <https://jods.mitpress.mit.edu/pub/d8an1bja>.
- Schmidt, J. H. (1934). L'expédition de Ctésiphon en 1931-1932. Syria. *Archéologie, Art et histoire*, 15(1), pp. 1-23.
- SimScale. (2023). *What is PMV & PPD?* SimScale Blog. Recuperado de <https://www.simscale.com/blog/what-is-pmv-ppd/>
- Smith, M. W. (2001). *Analysis of the thermal performance of Tierra I—a low-energy high-mass residence*. National Renewable Energy Laboratory.
- The Constructor. (2021). *23 Types of Concrete Used in Construction and their Applications*. Recuperado de <https://theconstructor.org/concrete/types-concrete-applications/19779/>.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224 (4647), pp. 420-421. doi: 10.1126/science.6143402.
- Verderber, S. (1986). Dimensions Of person-window Transactions in the hospital environment. *Environment and Behavior*, 18 (4), pp. 450-466.
- Verderber, S., & Reuman, D. (1987). Windows, views, and health status in hospital therapeutic environments. *Journal of Architectural and Planning Research*, pp. 120-133.
- Villaga Calce S.P.A. (2009). *Process for production of natural hydraulic lime*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2009098727A2/en>.
- Wright, G. R. H. (2009). *Ancient building technology*, vol. 3. Leiden: Koninklijke Brill NV.
- Yuan, P. F. (2023). Toward a generative AI-augmented design era. *ARIN*, 2(16). <https://doi.org/10.1007/s44223-023-00038-9>.

Abstract: Bio-inspired architecture, supported by Artificial Intelligence (AI), generates designs that integrate with the natural and built environment, considering human needs, cultural values and sustainable development goals. The impact of living spaces on our well-being is analysed, using environmental and developmental psychology. Data have been obtained from energy performance assessments of semi-buried biomorphic structures, analogous to earthen construction (Smith, 2001). Calculations were performed for the typical climate of Madrid, using dynamic energy simulations. The heat balance without and with air conditioning was addressed in the heating and cooling design weeks for base-

line and upgraded versions. Preliminary results allow inferring the effectiveness of this building system in maintaining the building in adaptive thermal comfort throughout the year, for climatic locations in Spain, with heating demands below 18 Kwh/m².a, and no relevant cooling demands. The study pointed out that the use of passive bioclimatic strategies may be sufficient for the adaptation of the system to other locations with more demanding climates, respecting the figures of the NZEB standard or the ZEB norm. In conclusion, the bio-inspired research project presented here is an evolutionary process that requires continuous interdisciplinary collaboration and critical reflection. AI-guided applications of biomimetic strategies are intended to further generate innovative and sustainable solutions to current challenges of society and its interaction with the environment.

Keywords: Biomimetic design - Environmental psychology - Artificial and natural intelligence - Symbiotic adaptation - Dynamic energy simulations - Adaptive thermal comfort

Resumo: A arquitetura de inspiração biológica, apoiada pela Inteligência Artificial (IA), gera projetos que se integram ao ambiente natural e construído, considerando as necessidades humanas, os valores culturais e as metas de desenvolvimento sustentável. O impacto dos espaços de convivência em nosso bem-estar é analisado com base na psicologia ambiental e do desenvolvimento. Foram obtidos dados de avaliações de desempenho energético de estruturas biomórficas semi-enterradas, análogas à construção em terra (Smith, 2001). Os cálculos foram realizados para o clima típico de Madri, usando simulações dinâmicas de energia. O balanço de calor sem e com ar-condicionado foi abordado nas semanas de projeto de aquecimento e resfriamento para as versões de base e atualizadas. Os resultados preliminares permitem inferir a eficácia desse sistema de construção para manter o edifício em conforto térmico adaptável durante todo o ano, para locais climáticos na Espanha, com demandas de aquecimento abaixo de 18 Kwh/m².a e sem demandas de resfriamento relevantes. O estudo apontou que o uso de estratégias bioclimáticas passivas pode ser suficiente para a adaptação do sistema a outros locais com climas mais exigentes, respeitando os valores da norma NZEB ou da norma ZEB. Concluindo, o projeto de pesquisa bioinspirado apresentado aqui é um processo evolutivo que exige colaboração interdisciplinar contínua e reflexão crítica. As aplicações orientadas por IA de estratégias biomiméticas têm o objetivo de gerar soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios atuais da sociedade e sua interação com o meio ambiente.

Palavras-chave: Design biomimético - Psicologia ambiental - Inteligência artificial e natural - Adaptação simbiótica - Simulações dinâmicas de energia - Conforto térmico adaptativo